



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INUNDAÇÕES NO
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**

HELENNE JUNGBLUT GEISSLER

FLORIANÓPOLIS

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INUNDAÇÕES NO
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**

TESE submetida à
Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito parcial
para a obtenção do Título de
DOUTOR em Engenharia Civil.

Doutoranda : Helenne Jungblut Geissler

Orientador : Prof. Dr. Carlos Loch

Florianópolis, 2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

G313a Geissler, Helenne Jungblut

Avaliação de cenários de inundações no planejamento do uso e ocupação do solo urbano [tese] / Helenne Jungblut Geissler ; orientador, Carlos Loch. - Florianópolis, SC, 2012.

160 p.: il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Inundações. 3. Solo urbano - Uso - Planejamento. 4. Mapeamento do solo. 5. Estuários. I. Loch, Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INUNDAÇÕES
NO PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**

Tese de Doutorado

Helenne Jungblut Geissler

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD
Coordenador do PPGEC

Prof. Carlos Loch, Dr.
Orientador (ECV/UFSC)

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Carlos Loch, Dr.
Moderador (ECV/UFSC)

Prof. Antonio Nelson Rodrigues da Silva, Dr.
(EESC - USP)

Prof. Jürgen Wilhelm Philips, Dr.-Ing.
(ECV/UFSC)

Prof. Rafael A. dos Reis Higashi, Dr.
(ECV/UFSC)

Prof. Jucilei Cordini, Dr.
(ECV/UFSC)

Prof. Francisco de Assis Mendonça, Dr.
(UFPR)

Profa. Lia Caetano Bastos, Dra.
(ECV/UFSC)

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2012

DEDICATÓRIA

Agradeço a minha família, meus pais, Ligia e Marco Aurélio grandes incentivadores ao estudo, as minhas irmãs Heloyse e Palmyra, aos meus sobrinhos Sergio e Juliana, demais parentes, amigos e amigas no Brasil e no exterior pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, que me acolheu desde a graduação. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, no qual cursei o mestrado e doutorado. Ao laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – labFSG.

Ao Professor Professor Dr. Carlos Loch, orientador, pelas discussões e recomendações a pesquisa e demais Professores, Pesquisadores e Funcionários da universidade. A Banca Examinadora pela avaliação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Fundo Setorial de Recursos Hídricos – CT HIDRO e ao Programa *Erasmus Mundus* pela bolsa de estudos concedida.

A tese foi um processo de pesquisa desenvolvido durante cinco anos, cuja viabilização ocorreu pelo apoio de instituições, empresas e pessoas que acreditaram na proposta, cederam dados e colaboraram para essa pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Prefeitura Municipal de Joinville. Secretário de Planejamento, Orçamento e Gestão de Joinville, Msc. Eduardo Dalbosco e Msc. Patricia Becker e Msc. Celso Voos Vieira do Departamento de Geoprocessamento. Secretário de Infraestrutura Urbana Engenheiro Civil Ariel Pizzolatti, Engenheira Civil Carla Cristina Pereira Brenne e Engenheiro Civil Saulo Rocha.

Diretor-presidente da Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamentos S/A Engenheiro Civil Antônio Luiz Codespoti Teixeira de Freitas e funcionário Dr. Everton da Silva, Msc. Roberto Elizeu Preosck, Engenheira Cartógrafo Suely Bárbara Laskowski, Msc. João Norberto Destro. Ao Engenheiro Cartógrafo Ricardo José Serrato pela colaboração no desenvolvimento dos mapas temáticos.

Aos que contribuíram direta ou indiretamente auxiliando a realização da pesquisa.

RESUMO

Os objetivos da pesquisa foram analisar os impactos de marés-altas em áreas urbanas baixas e realizar um levantamento de paleoníveis do nível médio do mar (NMM), das tendências de elevação do nível do mar e inundações causadas por precipitações em Joinville. Selecionou-se um estuário litorâneo; a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, situada na Baía da Babitonga, 84,82 km² e 288.577 habitantes para a avaliação de áreas afetadas. A maré-alta ocorre frequentemente, provocando inundações que persistem durante algumas horas ou uma semana. Utilizou-se Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 9.2 – ESRI para superpor informações cartográficas e temáticas a cenários de simulação de marés e a modelagem de cheias espacializando eventos na área urbana. Dentre os cinco cenários de maré-alta mais relevantes, 1,6 m, 1,7 m, 1,8 m, 2,00 m e 2,50 m, selecionaram-se dois eventos; 1,6m e 2,5m para análises mais detalhadas. Os paleoníveis do mar foram analisados mediante análise exploratória de referencial teórico e de pesquisas progressas. Utilizaram-se quatro simulações de cenários para inundações causadas por precipitação com período de retorno T=5, 10, 25 e 50 anos. As inundações produzidas por maré-alta e precipitação foram analisadas utilizando geoprocessamento e as ferramentas “*intersection*” e “*clip*”. Os resultados descrevem as áreas afetadas, por bairro, zoneamento de uso e ocupação do solo, lotes, litotipos. A maré-alta inunda 2,40 km² no nível 1,6 m e 7,08 km² no nível 2,5 m. O NMM já esteve mais elevado durante o período Quaternário, em 2,5 m, 3,0 m a até 4,0 m. Recomenda-se priorizar as medidas não estruturais para enfrentamento das inundações, percepção do risco de marés-altas e planos de reordenamento urbano. Há perspectiva de piora do quadro considerando que as áreas remanescentes na bacia de 25,45 km² ou 30 % sejam edificadas. Recomenda-se modificar a legislação urbanística, o uso e ocupação do solo, tipologias de edificações, estipular requisitos estruturais e construtivos, estabelecer banimentos para uso residencial e de equipamentos em áreas de perigo, dentre outras medidas de proteção. A inundação de rio causada por precipitação nas condições atuais é de 7,16 km², 10,73 km², 14,06 km² e 16,17 km², respectivamente. A profundidade atinge ou supera 2 m de altura submergindo áreas extensas, implicando em perigos para os habitantes e brigadas de resgate. Para inundação T=50 anos há 23 escolas afetadas, 3 apenas na bacia do Bucarein. Dos 5 hospitais de Joinville 4 são diretamente afetados, o que pode inviabilizar sua operação. 9 unidades de saúde, 2 unidades de pronto atendimento e 3 terminais de ônibus também são

submersos em de 1,5 a 2 m de profundidade. A área remanescente na bacia é de 25,45 km². Espera-se um aumento na impermeabilização do solo expandindo a área de inundação para 13,15 km², 15,59 km², 18,30 km² e 20,19 km², respectivamente, elevando o nível da cheia e o número de habitantes afetados. Recomenda-se priorizar as medidas não estruturais; preservar as zonas de amortecimento de cheias, evitar obstruções ao escoamento, aumentar a infiltração no subsolo, gerar reordenamento urbano, modificar tipologias de edificações, estipular requisitos estruturais e construtivos, estabelecer banimentos para uso residencial e de equipamentos na zona de perigo e outros. Promover a percepção do risco e treinamentos anuais, gerar modelagens para T=100 anos ou mais associando marés-altas, desenvolver Sistemas de Previsão e Alerta de inundações.

Palavras-chave: inundações por marés-altas, tendência de elevação do nível do mar, cheias de rio, mapeamento temático, estuário litorâneo

ABSTRACT

The research analyzes the impact of high tides on low urban areas and does a survey about the paleolevels of mean sea level, sea level rise (SLR) trends and river floods caused by precipitation for the city of Joinville. A coastal estuary, the hydrographic basin of Cachoeira River, located at Babitonga Bay, 84.82 km², 288,577 inhabitants, was selected for the assessment of the affected areas. The high tide occurs frequently, causing flooding that persists for a few hours up to a week. The Geographic Information System (GIS) ArcGIS 9.2 - ESRI was used to perform the superimposition of cartographic and thematic information over tide simulation scenarios and flood modeling, representing events on the urban area. Among the five most relevant scenarios of high tide, 1.6 m, 1.7 m, 1.8 m, 2.00 m and 2.50 m, two events were selected: 1.6 m and 2.5 m, for further analysis. Four different flood scenarios for Joinville were simulated with return periods (T) of 5, 10, 25 and 50 years. Geoprocessing was used, e.g Intersection and Clip tools. Sea paleolevels and river floods were analysed using exploratory analysis of theoretical background and previous related research. The results describe the affected areas by neighborhood, zoning and land use, urban plots and lithotype. This represents, in terms of tidal flooding area, 2.40 km² for a tide level of 1.6 m and 7.08 km² for a tide level of 2.5 m. The sea level has already been higher during the Quaternary Period, at 2.5 m, 3.0 m up to 4.0 m. It is recommended to prioritize non-structural measures to cope with floods, such as tidal hazards awareness and plans for urban redevelopment. Given the prospect of worsening of hazards considering that the remaining 25.45 km² or about 30% of the basin could be use for building, it is also recommended to modify the urban legislation, the land use and occupation, types of buildings, establish structural and construction requirements, establish bans for residential use, to move important institutions, infra-structure, equipments and services to higher ground, among other protective measures. The river flood, in current conditions, has an area of 7.16 km², 10.73 km², 14.06 km² and 16.17 km². The water depth reaches or exceeds 2 m, submerging large areas, resulting in danger. For a flood with T=50 years, there are 23 affected schools, 3 at Bucarein Basin only. Four of the 5 hospitals in Joinville are directly affected by the flood, disrupting their service. Nine healthcare units, 2 emergency units and 3 bus stations also submerge at a water depth of 1.5 to 2m. There is a remaining area of 25.45 km². An increase in the land cover is anticipated, expanding the flood area to 13.15 km², 15.59 km², 18.30 km² and 20.19 km²,

respectively, raising the level of the flood and the number of affected inhabitants. It is recommended to prioritize non-structural measures to cope with the floods, preserve buffer zones, prevent flow obstructions, increase soil infiltration, promote urban redevelopment, modify building typology, establish structural and construction requirements, establish bans for residential use and equipments in the danger zone, increase risk awareness and training, generate models for floods with $T=100$ years or more associating high tides and develop a flood forecast and alert system.

Keywords: tidal floods, sea level rise trends, river floods, thematic maps, coastal estuary

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Esquema do método da pesquisa.....	52
Figura 2:	Esquema da função “clip”	55
Figura 3:	Esquema da função “intersection.....	56
Figura 4:	Posição de Joinville no Brasil e Estado de Santa Catarina.....	62
Figura 5:	Bacia do rio Cachoeira.....	62
Figura 6:	Hidrografia da bacia do rio Cachoeira.....	63
Figura 7:	Séries históricas de precipitação pluviométrica anual para Joinville entre 1895 a 1960.....	64
Figura 8:	Estações maregráficas e amplitude das marés na costa brasileira.....	71
Figura 9:	Mapa hipsométrico da bacia do rio Cachoeira.....	76
Figura 10:	Mosaico de ortofotos com limites de bairros.....	82
Figura 11:	Mosaico de ortofotos com relação entre limites de bairros e hidrografia	83
Figura 12:	Mosaico de ortofotos com inundação por maré-alta no nível 1,6 m.....	87
Figura 13:	Mosaico de ortofotos com áreas do zoneamento afetadas por maré-alta no nível 1,6 m.....	88
Figura 14:	Mosaico de ortofotos com litotipos afetados por maré-alta no nível 1,6 m.....	89
Figura 15:	Mosaico de ortofotos com inundação por maré-alta no nível 2,5 m.....	92
Figura 16:	Mosaico de ortofotos com área do zoneamento afetada por maré-alta no nível 2,5 m.....	93
Figura 17:	Mosaico de ortofotos com litotipos afetados por maré-alta no nível 2,5 m.....	95
Figura 18:	Mosaico de ortofotos com comparação de áreas afetadas por maré-alta no nível 1,6 m e nível 2,5 m	96
Figura 19:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por maré-alta no nível 1,6m.....	98
Figura 20:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por maré-alta no nível 2,5m.....	99
Figura 21:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por maré-alta no nível 1,6 m e 2,5m.....	102
Figura 22:	Relação entre profundidade de inundação, velocidades de correntes e probabilidade criança, adulto sedentário e atleta sob stress escapar.....	104
Figura 23:	Mapa de inundação do evento de 22/11/2009.....	107

Figura 24:	Mosaico de ortofotos com inundação causada por precipitação pluviométrica T=5anos	109
Figura 25:	Mosaico de ortofotos com inundação causada por precipitação pluviométrica T=10 anos.....	112
Figura 26:	Mosaico de ortofotos com inundação causada por precipitação pluviométrica T=25 anos.....	115
Figura 27:	Mosaico de ortofotos com inundação causada por precipitação pluviométrica T=50 anos.....	117
Figura 28:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação de precipitação pluviométrica T=5 anos	123
Figura 29:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação de precipitação pluviométrica T=10 anos	124
Figura 30:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação de precipitação pluviométrica T=25 anos	125
Figura 31:	Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação de precipitação pluviométrica T=50anos	126
Figura 32:	Mosaico de ortofotos com localização das fotos de entorno e padrão construtivo no bairro Fátima.....	127
Figura 33:	Vista do rio Itaum-Açu na Ponte da Rua Guanabara.	128
Figura 34:	Vista do manguezal no trecho final da Rua Fátima...	129
Figura 35:	Vista de garça nas matas ciliares.....	129
Figura 36:	Vista do canal.....	130
Figura 37:	Vista de residência unifamiliar.....	130
Figura 38:	Vista de residência unifamiliar.....	131
Figura 39:	Vista de residência unifamiliar.....	131
Figura 40:	Vista de residência unifamiliar.....	132
Figura 41:	Vista de residência unifamiliar.....	132
Figura 42:	Vista de residência unifamiliar.....	133
Figura 43:	Mosaico de ortofotos com localização das fotos de entorno e padrão construtivo no bairro América.....	134
Figura 44:	Vista da Rua Max Colin esquina com Rua Orestes Guimarães.....	135
Figura 45:	Vista de edifício na Rua Max Colin esquina com Rua Varge��o.....	135
Figura 46:	Vista de residência unifamiliar e loja.....	136
Figura 47:	Vista de edifício multifamiliar de alto padrão.....	136
Figura 48:	Vista de residência unifamiliar.....	137
Figura 49:	Vista do leito do rio Cachoeira, matas ciliares degradadas e aves na margem.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Registros de precipitação pluviométrica mensal para Joinville – SC.....	65
Tabela 2:	Dias chuvosos para Joinville.....	66
Tabela 3:	Tabela de chuvas intensas para Joinville.....	67
Tabela 4:	Maré-alta e conseqüências observadas para Joinville.....	70
Tabela 5:	Relação entre o período de retorno e o nível máximo de maré astronômica, que são gerados pelo ajuste da distribuição probabilística normal.....	72
Tabela 6:	Relação entre marés-altas e áreas inundadas.....	81
Tabela 7:	Descrição dos bairros afetados pela maré-alta no nível 1,6m.....	84
Tabela 8:	Descrição dos tipos de uso do solo afetados pela maré-alta no nível 1,6 m.....	85
Tabela 9:	Descrição de bairros e habitantes afetados por maré-alta no nível 1,6m.....	86
Tabela 10:	Relação entre geologia e maré-alta no nível 1,6m.....	86
Tabela 11:	Descrição de bairros afetados por maré-alta no nível 2,5m.....	90
Tabela 12:	Descrição de tipos de usos do solo afetados por maré-alta no nível 2,5m.....	91
Tabela 13:	Relação de população de bairros afetados por maré-alta no nível 2,5m.....	91
Tabela 14:	Descrição de litotipos afetados por maré-alta nível 2,5m	94
Tabela 15:	Bairros afetados por inundação T=5anos.....	110
Tabela 16:	Habitantes afetados por inundação T=5anos.....	110
Tabela 17:	Bairros afetados por inundação T=10anos.....	111
Tabela 18:	Habitantes afetados por inundação T=10anos.....	113
Tabela 19:	Bairros afetados por inundação T=25anos.....	114
Tabela 20:	Habitantes afetados por inundação T=25anos.....	114
Tabela 21:	Bairros afetados por inundação T=50anos.....	116
Tabela 22:	Habitantes afetados por inundação T=50anos.....	118
Tabela 23:	Lotes afetados por inundação atualmente.....	119
Tabela 24:	Comparação entre áreas inundadas atualmente e projeção futura.....	121
Tabela 25:	Comparação entre habitantes afetados por inundação atualmente e projeção futura.....	122

LISTA DE SIGLAS

ALS - Airborne Laser Scanner

A4scg - Gnaiss, Granulito e Gnaiss granulítico

BM - Mínimos de Baixa-mares

CTM - Cadastro Técnico Multifinalitário

ENM - Elevação do Nível do Mar

FATMA - Fundação do Meio Ambiente

GIS - Geographic Information System

GLOSS - Global Sea Level Observing System

GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

HEC-HMS - The Hydrologic Modeling System

HEC-RAS - The Hydraulic Engineering Centre model

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPPUJ - Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville

ISDR - International Strategy for Disaster Reduction

labFSG – Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

MDT - Modelo Digital de Terreno

MHHW - Mean Higher High Water

MNT - Modelo Numérico de Terreno

NMM - Nível Médio do Mar

PDDU - Programa Municipal de Drenagem e Plano Diretor de Drenagem Urbana

PIB - Produto Interno Bruto

PM - Máximos de Preamares

PMJ - Prefeitura Municipal de Joinville

Q2a - Solos Arenosos e Cascalhos

RMPG - Rede Maregráfica Permanente para Geodésia

SE - Setores Especiais

SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura

SEPLAN - Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SLR - Sea Level Rise

T – Período de Retorno

UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville

ZC - Zona Central

ZCD - Zonas Corredor Diversificado

ZI - Zona Industrial

ZR - Zonas Residenciais

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Justificativa.....	27
1.2	Problema e hipótese de pesquisa.....	29
1.3	Objetivos.....	30
1.4	Ineditismo, relevância e contribuição científica.....	30
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	33
2.1	Cadastro Técnico Multifinalitário.....	33
2.2	Risco, vulnerabilidade e resiliência.....	35
2.3	Planos diretores e zoneamento de cheias e regulamentação.....	36
2.4	A abordagem nos estuários litorâneos.....	41
2.5	A bacia hidrográfica.....	42
2.6	Análise de riscos geoambientais nos estuários-litorâneos.....	43
2.6.1	O risco de inundações.....	44
2.6.2	Drenagem e o estudo de cheias.....	46
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1	Materiais e equipamentos.....	49
3.2	Métodos.....	50
3.2.1	Considerações acerca da importância do material e acesso a produtos cartográficos.....	53
3.2.2	Análises de elevação do nível do mar.....	53
3.2.3	Análises espaciais das inundações geradas por marés-altas e por precipitação pluviométrica.....	53
3.2.4	Análises espaciais em ArcGIS.....	54
3.2.5	Funções de análise.....	55
3.2.5.1	Função limites de corte ou “clip”.....	55
3.2.5.2	Função intersecção ou “intersection”.....	56
3.2.6	Superposição de produtos cartográficos, temáticos e ortofotos à modelagem.....	57
3.2.6.1	Considerações acerca de cálculos em bairros e lotes.....	58
3.2.6.2	Cálculos de áreas, bairros e lotes afetados.....	58
3.2.6.3	Identificação de áreas do Zoneamento afetadas.....	59
3.2.7	Estimativa de habitantes afetados.....	59
3.2.8	Estimativa de cenários.....	60
3.2.9	Fotos em campo.....	60

4.	ÁREA DE ESTUDOS.....	61
4.1	Localização.....	61
4.2	Clima.....	64
4.3	Influência de regime de marés nas inundações.....	67
4.3.1	Breve análise da conceituação de marés.....	68
4.3.2	Dados mareográficos.....	69
4.4	Níveis máximos de maré e a maré meteorológica.....	72
4.5	Tendências de elevação do nível do mar e estudos do Quaternário na costa do Brasil e no Estado de Santa Catarina.....	73
4.6	Geomorfologia.....	75
4.7	Geologia.....	77
4.7.1	Pedologia.....	78
4.8	Plano Diretor e Zoneamento do Uso do solo.....	79
4.9	Características sócio-econômicas e problemas ambientais.....	79
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	81
5.1	Identificação de áreas afetadas por maré-alta.....	84
5.1.1	Áreas inundadas por maré-alta nível 1,6 m.....	84
5.1.2	Áreas inundadas por maré-alta nível 2,5 m.....	90
5.1.3	Comparação de cenários.....	94
5.1.4	Lotes afetados por maré-alta nível 1,6 m.....	97
5.1.5	Lotes afetados por maré-alta nível 2,5 m.....	97
5.1.6	Comparação entre lotes afetados por maré-alta no nível 1,6 m e 2,5 m.....	100
5.2	Considerações sobre a influência de precipitações pluviométricas nas inundações.....	105
5.2.1	Diagnóstico das inundações em Joinville.....	105
5.2.2	Considerações quanto à falta de dados e limitações oriundas do material base.....	106
5.3	Identificação de áreas afetadas por inundação causada por precipitação pluviométrica.....	108
5.3.1	Inundação causada por precipitação pluviométrica T=5 anos.....	108
5.3.2	Inundação causada por precipitação pluviométrica T=10 anos.....	111
5.3.3	Inundação causada por precipitação pluviométrica T=25 anos.....	113
5.3.4	Inundação causada por precipitação pluviométrica T=50	116

	anos.....	
5.3.5	Lotes inundados em relação ao tempo de retorno T.....	119
5.3.6	Comparação entre cenários de inundações gerados por precipitações pluviométricas	119
5.3.7	Fotos de entorno em áreas inundáveis.....	127
5.3.7.1	Fotos no bairro Fátima.....	128
5.3.7.2	Fotos no bairro América.....	133
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	139
6.1	Conclusões.....	139
6.1.1	Conclusão geral.....	139
6.1.2	Conclusões específicas.....	140
6.1.2.1	Conclusões quanto ao estudo exploratório de paleoníveis do nível do mar.....	140
6.1.2.2	Conclusões quanto à análise de marés-altas em áreas urbanizadas.....	141
6.1.2.3	Conclusões quanto à análise de inundações geradas por precipitações pluviométricas em áreas urbanizadas.....	142
6.2	Recomendações.....	143
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
8.	ANEXOS.....	157

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa abrange a análise de inundações em bacia hidrográfica urbanizada, visando o suporte à decisão em planejamento de uso e ocupação do solo, atuando inclusive na prevenção em Defesa Civil.

A motivação vem da importância dos tópicos inundações, marés-altas, discussões e controvérsias envolvidas nas Mudanças Climáticas e processos de Elevação do Nível do Mar (ENM) em zonas costeiras. Alguns autores estimam que as áreas com baixa cota topográfica, especialmente abaixo de 10m de altitude são as mais vulneráveis no litoral (MCGRANAHAN et alia, 2007; NOBRE, 2007). No entanto, não há consenso quanto à confiabilidade dessa cota topográfica, enquanto parâmetro para nível de proteção da população, especialmente em baías montanhosas. Isto mostra outra lacuna e aponta a necessidade de gerar análises com rigor de detalhes em zonas costeiras urbanizadas.

Há muitas causas de inundações, que podem ser geradas por marés, ou tempestades severas, ou ondas excepcionais. Os produtos temáticos possibilitam instrumentalizar decisores e população na discussão, quanto à necessidade de considerar os desastres no planejamento e gestão territorial em áreas estuarino-litorâneas baixas.

As tentativas de entender e gerir os parâmetros que atuam na geração de inundação remetem a mais de 6 mil anos, mas o uso de modelagem de cheias é uma prática recente (DYHOUSE, 2003). O aperfeiçoamento da modelagem computacional de cheias permite que a engenharia avance e transponha a abordagem estrutural, ou seja, de obras de engenharia. O desenvolvimento de modelos hidrológicos e hidráulicos encontra-se em franca evolução. Os avanços para aperfeiçoar modelos de escala grande contribuíram no aprofundamento acerca da drenagem urbana (PORTMANN et alia, 2008; LINDENSCHMIDT et alia, 2007).

Diversos modelos computacionais de cheias têm sido desenvolvidos, seja modelos 1D, que medem os níveis de cheia, modelos 2D, que medem a profundidade de cheia a partir da extensão da planície de inundação. O modelo HEC-RAS, *the Hydraulic Engineering Centre model*, desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers*, está entre os mais utilizados, por ser gratuito que Oliveira et al. (2010) utilizou para gerar modelos, os quais estão sendo utilizados na pesquisa.

Os estuários impõem outras dificuldades aos modelos (WOLF, 2008). A simplificação 1D não é aconselhável, tampouco válida. Nesses locais os modelos 2D simulam velocidades nas direções transversal e longitudinal. É importante considerar o efeito de jusante sobre o escoamento como a maré na foz de rios, causando represamento; a altimetria e outros aspectos para representar com precisão variações no modelo hidrodinâmico e simular modificações. São necessários detalhes para interrelacionar subtrechos de rio, microbacias e outras feições gerando diferentes faixas de valor e produtos como os mapas temáticos e o Modelo Numérico de Terreno - MNT (TUCCI, 2007).

Diversos autores tem recomendado a utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para análises de áreas inundáveis (BARNOLAS e LLASAT, 2007; FERNÁNDEZ-LAVADO, 2007; GARCIN et alia. 2008; ANDERSSON e NYBERG, 2009) entre outros.

A pesquisa busca mostrar através de mapeamento temático e abordagem cadastral espacializar os impactos de marés-altas e inundações oriundas de precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, situada em Joinville, Santa Catarina, em bairros, quadras e parcelas afetadas, identificando a posição geográfica e medindo dessas áreas impactadas, tipos de uso e ocupação do solo no zoneamento, tipos de solos mais expostos a inundações de marés-altas, mediante comparação de eventos no nível 1,6m e 2,5m e inundações geradas por precipitação pluviométrica com período de retorno T de 5, 10, 25 e 50 anos.

Esta discussão contribui para estudos de inundações e para que outras pesquisas sejam desenvolvidas. Isso aumentará a informação sobre os impactos de marés-altas, tempestades e de processos de elevação do nível do mar, que também resultarão em inundações em estuários litorâneos e áreas costeiras baixas. Obviamente, ocorrerão desdobramentos; continuar e de implementar investigações considerando as tendências da dinâmica de ENM e de precipitação pluviométrica, além de impermeabilização do solo na área de estudos. Por consequência, outro sem-número de análises e que mapas podem ser produzidos, aumentando o detalhamento o respaldo de estudos de vulnerabilidade, em Joinville e noutros municípios, além de expandir iniciativas similares para outros locais na costa brasileira.

1.1 Justificativa

As inundações constituem o desastre natural que mais vitima as populações humanas com mortes e danos em todo o mundo, (BARNOLAS e LLASAT, 2007). Os impactos vêm aumentando nas últimas décadas pelo aumento dos assentamentos humanos em locais inadequados, o que exige reação aos fenômenos. Recomenda-se priorizar as estratégias de enfrentamento que visem a proteção, medidas não-estruturais (uso e ocupação), legais e jurídicas para prevenção em Defesa Civil em face de catástrofes ao invés de medidas estruturais, ou seja obras de engenharia, (GRUBER, 2008).

Os desastres, na visão de Raschky (2008), estão ligados e ao grau de (des) preparação das instituições em como lidar com os efeitos adversos e de como desenvolver estratégias de adaptação eficientes. Na experiência de diversos países há uma relação não-linear entre nível de desenvolvimento e perdas e danos em desastres.

Estuários litorâneos são corpos d'água transicionais, cuja hidrodinâmica reúne massas d'água salinas e salobras, adentrando o continente. Assentamentos humanos nessas áreas atuam como limiar deflagrando processos de risco, devido à alta fragilidade ambiental, baixa estabilidade geológico-geotécnica e baixa resiliência¹ frente a perturbações agravada por comportamento dinâmico dos ecossistemas variando no tempo, (WOLANSKI, 2007).

Há inúmeras lacunas a transpor em pesquisas que utilizem esse tipo de *locus*, enquanto área de estudos. Mudanças importantes nas estratégias do planejamento de uso e ocupação do solo e gestão são indispensáveis (INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION/ISDR, 2011), uma vez que há tendência de piora de desastres naturais e das inundações no *Hyogo Framework for Action 2005-2015*. Pesquisas que incorporem esse discurso e as premissas norteadoras da Política Nacional de Defesa Civil, diretrizes da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina, dentre outros possibilitam reduzir a vulnerabilidade a desastres naturais. O impacto das inundações é piorado por diversas lacunas no nível de informação.

¹ Resiliência – expressão da Física que significa poder, habilidade de recuperação de um objeto, grau de elasticidade para retornar a forma e/ou estado inicial após perturbação.

Os problemas ocorrem devido:

- a) à desconsideração do comportamento dinâmico dos estuários para efeitos de planejamento e gestão territorial;
- b) à falta de conhecimento detalhado de parâmetros físicos de bacias hidrográficas com drenagem para o oceano (topologia, geomorfologia, tipos de solo, porosidade, capacidade de infiltração e fisiografia e outros);
- c) ao planejamento para uso e ocupação omissos quanto a capacidade de suporte, recursos hídricos e avanço da cunha salina em bacias hidrográficas e mananciais, desastres e perspectiva de Mudanças Climáticas Extensas;
- d) aos planos diretores enfatizando o meio edificado, desconsiderando riscos geoambientais, aptidões de solo, modificações de parâmetros hidrológicos, introduzindo impermeabilização extensa do solo;
- e) à ocupação de áreas com alta fragilidade ambiental;
- f) à falta de conhecimento detalhado da influência das marés em bacias com drenagem oceânica e falta de compreensão global dos Riscos de inundações;
- g) à falta de mapeamentos que abranjam bacias hidrográficas inteiras e municípios inteiros contemplando sistemas de drenagem e falta de mapas detalhados de áreas inundáveis;

Há também lacunas envolvendo responsabilidade, uma vez que a interação do poder público e da Defesa Civil com outras instituições, setor acadêmico e demais atores sociais, poderia ser maior, viabilizando a prevenção e a preparação para o enfrentamento de desastres.

As inundações em zonas costeiras podem ser geradas por diversas causas. A tese propôs analisar marés-altas e precipitações gerando inundações no meio urbanizado utilizando o monitoramento de marés, modelagem hidrológica e hidráulica, SIG e abordagem multidisciplinar e ENM em uma bacia hidrográfica.

Analisar marés-altas, processos de elevação do nível do mar e cheias produzidas por precipitação pluviométrica constituem desafios, pois envolve assuntos muito complexos e requer abordagem interdisciplinar. As inundações de marés incluem lacunas a nível metodológico.

O estudo de inundações é favorecido transpondo-se o conhecimento fragmentário e os limites de campos disciplinares. No entanto, isso implica que a mentalidade dos planejadores e gestores mude. É necessário utilizar uma abordagem com base na bacia hidrográfica e de aporte de uma visão estratégica e científico-tecnológica dos desastres. Neste contexto, a informação espacial em escala grande permite instrumentalizar decisões do planejamento e gestão territorial.

A tese combina tópicos relativos à influência de marés e de precipitação pluviométrica com período de retorno T de 5, 10, 25 e 50 anos e tendências futuras de inundações em uma bacia hidrográfica urbanizada com baixa altitude de um município costeiro.

Para tanto, utiliza SIG para realizar a superposição entre produtos temáticos a modelos de inundação tanto gerados por marés-altas quanto por precipitação pluviométrica, com o suporte de ortofotos e informação topográfica para desenvolver cenários de submersão e produtos temáticos, gerando análises e resultados.

A detecção das áreas inundadas assume a maior relevância para suporte à decisão da Defesa Civil de Joinville, e outros. Os produtos temáticos visam contribuir para a discussão geoambiental em áreas estuarinas baixas, o que implica em medidas não estruturais de uso e ocupação do solo, as quais são pouco utilizadas atualmente.

1.2 Problema e hipótese de pesquisa

Problema 1: Superpondo-se modelagem de cheias a cartografia em escala grande obtém-se produtos temáticos de inundações geradas por marés-altas e por precipitação pluviométrica? Quais as tendências futuras de elevação de nível do mar?

Hipótese 1: Superpondo-se modelos de cheias à cartografia obtém-se cenários de submersão.

Problema 2: Qual a posição e áreas vulneráveis a inundações que devem sofrer Reordenamento Territorial?

Hipótese 2: A fusão de modelos à cartografia mostra conflitos de uso e ocupação do solo e riscos geoambientais de inundação.

1.3 Objetivos

Objetivo geral

Analisar cenários de inundações em uma bacia hidrográfica urbanizada para superposições temáticas a modelos de simulação de cheias gerados por marés-altas e precipitação pluviométrica.

Objetivos específicos

- a) realizar um levantamento exploratório de cenários prováveis de elevação de nível do mar;
- b) analisar marés-altas em áreas urbanas com baixa altitude;
- c) analisar as inundações; com período de retorno variados e tendências futuras em áreas urbanas com baixa altitude;

1.4 Ineditismo, Relevância e Contribuição científica

A modelagem computacional de inundações e a utilização de Sistemas de Informações Geográficas são métodos recentes para o estudo de cheias. A união dessas duas ferramentas é bastante útil para desenvolver simulações de cenários, identificando a posição, as áreas e as populações humanas vulneráveis a esse tipo de desastre natural.

No entanto, os estudos de cheias, em geral, visam um campo de pesquisa, enfatizando ou a Engenharia Hidráulica ou o Geoprocessamento. Em muitos casos utilizam métodos de extrapolação de parâmetros em Hidrologia utilizando dados que muitas vezes são incompletos para uma bacia hidrográfica inteira ou em escala pequena. Por consequência, geram modelagem hidrológica de baixa resolução.

Há uma lacuna envolvendo a pesquisa de riscos de inundações em áreas urbanizadas de alta vulnerabilidade a cheias, que é o caso dos estuários litorâneos com baixa cota topográfica. Ao mesmo tempo, há falta de instrumentos para a prevenção em Defesa Civil e interface com o planejamento e gestão de uso e ocupação do solo urbano. A pesquisa propõe envolver diversos campos disciplinares para as análises. O trabalho visa contribuir para os estudos de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas com drenagem litorânea através de análises de cenários em escala grande.

Busca-se entender os padrões de desenvolvimento de inundações em uma bacia hidrográfica superpondo-se modelagens a temas diversos, identificando a posição, mensurando áreas, quantificando habitantes afetados e comparando profundidades de submersão; cota de enchente, identificando as áreas inundáveis com respaldo em cotas topográficas.

Os diversos mapas mostram os padrões de desenvolvimento de cheias geradas por marés-altas e cheias geradas por precipitação pluviométrica em uma bacia hidrográfica; estuário litorâneo, em escala grande. Os mapas mostram o desenvolvimento de expansão planialtimétrica das manchas de inundação, cujo padrão segue o relevo e a fisiografia, tendo por agravo a taxa de impermeabilização do solo, dentre outros fatores. Busca-se enfatizar as medidas não estruturais; de planejamento de uso e ocupação do solo urbano e o Reordenamento Territorial.

A tese une a modelagem de inundações a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para testar e desenvolver cenários identificando a posição, áreas e populações vulneráveis. Unindo-se produtos em escala grande realiza-se a superposição temática à modelagem de cheias.

Utilizam-se funções matemáticas para gerar produtos temáticos em uma Bacia Hidrográfica costeira identificando padrões de desenvolvimento de inundações em estuário-litorâneo para eventos gerados por marés-altas e outros gerados por precipitação pluviométrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)

Tucci (2004) aponta que o Cadastro Técnico é de suma importância na prevenção de inundações e escorregamentos mesmo em áreas urbanas já edificadas. A ferramenta permite identificar na parcela uso e ocupação, seja habitação, comercial, industrial, serviços, infraestrutura, mensurando áreas em planta e perfil. O Cadastro aliado à topografia viabiliza reduzir perdas resultantes do remanso por obstrução do escoamento. A análise no lote possibilita estudar casos individualizados e adotar estratégias: a) a médio prazo para obras públicas, escolas, hospitais e prédios administrativos, que devem ser protegidos ou removidos para áreas seguras; b) realizar a transferência negociada de sub-habitações para áreas seguras e c) incentivar medidas de proteção construtiva em áreas comerciais e industriais pagas pelos beneficiados.

O CTM oferece grande potencial aos recursos hídricos no que tange ao compartilhamento de informações cadastrais do poder público, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e outros (DE CESARE, 2005). As inundações e escorregamentos evidenciam a necessidade de utilizar o cadastro, modelos, representação 3D, localizar e situar o lote com referência cadastral e outras informações (SILVA e LOCH, 2006).

Cruz (2001) enfatiza a importância do CTM dinâmico e contínuo no tempo como base para planos e gestão, uso e ocupação, e interface com os recursos hídricos. O CTM é favorecido pela abordagem no lote. O cadastro é um sistema parcelário, cujas unidades, as parcelas², são definidas por limites, cuja localização e extensão pode ser ocupada por indivíduos e/ou grupo, sendo útil para múltiplas finalidades.

Loch e Erba (2007) descrevem que a meta do Cadastro 2014 é de que haja integração institucional, estruturação em redes para delinear o intercâmbio de dados entre as instituições, disponibilizando informação para as instituições públicas, profissionais e população.

² Parcela – é a unidade básica do Cadastro. A cada unidade associa-se um código único ou identificador, sendo possível acessar os arquivos alfanuméricos e de atributos. Os índices gráficos em várias escalas (mapas cadastrais) mostram ao usuário a posição relativa das parcelas em uma dada região. A descrição gráfica da parcela e de objetos cadastrais deve ocorrer seguindo a precisão adequada. Os dados descritivos possibilitam incluir a natureza, a superfície, o valor, os direitos ou restrições legais associados a cada unidade sobre ou sob a superfície. As parcelas podem ser agrupadas em unidades de inscrição (LOCH e ERBA, 2007).

Para Erba (2005) a informação territorial subsidia o planejamento e gestão territorial, estruturado por critérios físicos (Cartografia Cadastral), social (ambiental), jurídico e econômico e de troca de informações. A parcela expressa na unidade de registro, limites e localização, servindo de base para lançar múltiplos dados, informações geométricas, temáticas e jurídicas, envolvendo limites naturais e elementos hídricos. No entanto, o elemento natural tem valor legal apenas se a Cartografia mostrá-lo. Isso destaca a importância da escala.

Erba (2005) e Loch e Erba (2007) mostram que a partir da Cartografia Cadastral é possível extrair informações da parcela quanto à edificação (localização, área, materiais, muros). A parcela e outras feições (quarteirão, edificações, lagos) são representados por polígonos, redes de serviço (esgoto, água, energia elétrica) por linhas e medidores de água, postes e árvores por pontos. A topografia irá descrever os elementos naturais e culturais da superfície terrestre. O CTM pode ser alimentado pela integração de informações espaciais, imagens de satélite, modelos numéricos de terreno – MNT e outros. Essas informações podem ser interrelacionadas e gerenciadas através de camadas ou layers. O procedimento facilita a organização e distribuição de dados, que devem ser georreferenciados.

Há uma infinidade de Cadastros que alimentam o CTM, como os Cadastros Setoriais, Cadastro Econômico, Cadastro Físico, Cadastro Jurídico, Cadastro de Zonas Homogêneas, Cadastro Geoambiental, Cadastro de Uso Atual, Cadastro de Uso Potencial, Cadastro de Rede Viária, Cadastro de Logradouros, Cadastro de Redes de Serviços, Cadastro de Equipamentos e Elementos Urbanos e Cadastro Socioeconômico. Merece destaque o Cadastro de Rede Hidrográfica; que é formado por cursos d'água (rios e riachos) e corpos d'água (açudes, barragens, lagos e lagoas) e canais de drenagem artificiais. Conhecer detalhadamente a rede hidrográfica é especialmente relevante em locais onde ocorrem inundações (LOCH e ERBA, 2007).

Para Silva e Loch (2006) a base cartográfica reúne muitas informações em layers ou camadas. A planta de referência cadastral integra a Cartografia e define a combinação de níveis de informação como divisas de lotes, polígonos de quadras, toponímia de logradouros, codificações de lotes e quadras entre outros dados necessários para complementar a referência cadastral de imóveis.

Evidencia-se que a planta de referência cadastral seja um tema cartográfico dos mais relevantes para fundamentar o CTM. Os dados gráficos permitem enlaçar os dados descritivos, elaborar consultas, realizar análises e atender diversos usos e usuários, como Defesa Civil, Corpo de Bombeiros (DE CESARE, 2005).

Dentre os cadastros temáticos mais importantes no âmbito urbano os mapas mais importantes para Loch (2005) são a rede viária urbana, a rede de drenagem, imobiliário (parcela, ocupação do solo e área), planialtimétrico, tributário, área verde e lazer, infra-estrutura (redes águas pluviais, água potável, esgoto sanitário, energia elétrica e telefonia) e glebas. As grandes dificuldades referem-se a falta de mapas e temas; altimetria, planimetria e sua variação temporal, devendo ser atualizados.

Loch (2005) e Loch e Erba (2007) relatam que há dificuldades para gerar os Mapas de Aptidão de Solos realizados pelo cruzamento de mapas de solo, planialtimétrico e uso do solo. No Brasil as informações são precárias quanto à classificação pedológica, inclusive na classificação geotécnica para a ocupação predial urbana. O problema expõe a população a Riscos geoambientais, por uso e ocupação do solo incompatíveis com sua aptidão. O recadastramento sistemático dos imóveis, obtendo um inventário geral dinâmico no tempo é essencial para subsidiar planos e gestão municipais e de concessionárias de serviços urbanos. A caracterização dos imóveis com foco na parcela possibilita desdobramentos do cadastro temático em cadastro territorial, predial e de condomínios.

2.2 Risco, vulnerabilidade e resiliência

Há termos que permeiam essa tese, que têm diversas dimensões e características conceituais. Sendo assim, a abordagem incorporada nessa pesquisa compreende o Risco, que está relacionado à chance de que um evento possa ocorrer, seja ele previsto ou não. Sendo assim, se um desastre pode ocorrer há um risco (PELLETIER, 2007).

Para Saito (2011) o risco é resultado da interação entre ameaça e vulnerabilidade. A ameaça consiste em detectar quais os fenômenos que tem potencial de ocorrência, as inundações, escorregamentos e outros.

Adota-se a definição de vulnerabilidade e de resiliência urbana utilizada pela Secretaria Nacional de Defesa Civil:

“Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis”
(CASTRO, 1998)

Resiliência urbana é a capacidade de uma cidade para resistir, absorver e se recuperar de modo eficaz e organizado dos efeitos causados por um desastre, prevenindo a perda de vidas e de bens.

2.3 Planos diretores e zoneamento de cheias e regulamentação

Para Tucci (2004), o Plano Diretor é útil para evitar a ocupação de áreas inadequadas, através do planejamento de uso e ocupação do solo. Os planos e a previsão de cheias ³ servem aos Planos de Defesa Civil visando à proteção da vida humana e de sua integridade física. Para tanto são necessários a Cartografia Cadastral para identificar habitantes de edificação em Risco, gerar pareceres e laudos de patologias estruturais, embargo e demolição, emitir alertas e operacionalizar evacuação de pessoas, dentre outros. Em cotas mais elevadas e menor Risco a inundações deve-se haver cuidados para evitar escorregamentos. Devem ser considerados em todo o processo de planejamento e gestão de Riscos o sistema viário, pluvial, abastecimento de água e de esgoto.

A regulamentação está associada a definir graus de Risco a inundações e outros desastres geoambientais, dependendo das cotas topográficas, declividade e correlação com a cota relativa de enchente. A habitação deve ser proibida nas áreas de alto Risco e evitados investimentos em infraestrutura, podendo haver uso para recreação como em parques.

Regulamentar o uso de zonas de inundação por meio de Planos Diretores supõe apoiar-se em mapas que demarquem as áreas, correlacionando-as com os respectivos graus de Risco a que estão

³ Previsão e Alerta – permite alertar as populações ribeirinhas. Caracteriza um sistema composto por aquisição de dados em tempo real e transmitidos para um centro que analisa e prevê em tempo real como modelos matemáticos as informações. A previsão do nível de enchente pode ocorrer por meio de a) previsão da precipitação através de radar meteorológico e/ou sensoramento remoto, cujos dados são processados, estimando a vazão e o nível de enchente por modelo matemático que simule a transformação de chuva em vazão; b) conhecida a precipitação utilizando estações telemétricas (antecedência da previsão é menor, limitada ao tempo de deslocamento da enchente); c) vazão de montante; c) combinação dos dois últimos critérios (TUCCI, 2004).

sujeitas e a critérios de uso e ocupação e a aspectos construtivos. Além disso, para que a regulamentação do município seja efetiva e beneficie a população, deve estar atrelada a legislação de loteamentos, construção, habitações e fiscalização como mecanismos para controle por parte das Prefeituras. O Zoneamento de cheias refere-se a definir um conjunto de regras para ocupar as áreas de maior Risco a inundações, buscando minimizar perdas materiais no futuro em razão de grande cheias. A análise e a abordagem dos Riscos de inundações através do lote são exaustivamente destacadas no âmbito internacional.

Na visão de Tucci (2004) o Zoneamento de cheias implica em conhecer o Risco de ocorrência de inundação e a cota topográfica da várzea. As áreas mais baixas são mais sujeitas a enchentes mais frequentes. Logo, delimitar as áreas do Zoneamento de cheias depende de conhecer as cotas altimétricas nas áreas urbana. Os princípios da Hidrologia classificam que, em geral, o rio possui um ou mais leitos ⁴, sendo que a secção do escoamento pode ser dividida em 3 partes principais:

- a) Zona de Passagem de Enchente ⁵ – funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Construções nessa área reduzem o escoamento e elevam os níveis (cota) de enchente à montante. O planejamento urbano deve priorizar que essa zona seja mantida desobstruída, evitando danos elevados e represamentos. Caso existam edificações, recomenda-se que a Prefeitura proceda ao Reordenamento Territorial realocando habitações. Deve haver um planejamento global das obras de infraestrutura, sendo verificadas as obstruções ao escoamento na construção de rodovias e pontes e aterros e proteção estrutural contra inundações. Os usos possíveis para essa área

⁴ Leito menor – seção de escoamento no regime de estiagem ou níveis médios; Leito maior – pode haver diversos lances, conforme a seção transversal e a topografia da várzea inundável. O rio ocupa esse leito nas enchentes. Verifica-se que quando o Tempo de Retorno – TR de extravasamento do leito menor for superior a 2 anos há tendência dos cidadãos ocuparem as várzeas. A ocupação gera danos relevantes aos ocupantes nas cheias e inclusive a populações à montante (rio acima) devido à elevação das cotas de enchente por dificuldades na drenagem por impermeabilização do solo e obstrução do escoamento natural (TUCCI, 2004: 644)

⁵ Zona de Passagem de Enchente - a faixa depende das condições hidráulicas do escoamento da enchente. A delimitação da faixa é realizada por meio do cálculo do remanso para uma vazão e corresponde à cota que define a área sujeita a inundação. A partir da vazão, é a cota onde as obstruções provocam acréscimos de níveis menores que “h” que define a zona (h = valor suficientemente pequeno para não agravar as condições existentes (TUCCI, 2004: 646).

são a agricultura e/ou lazer. Podem ser instaladas linhas de transmissão e condutos hidráulicos;

- b) Zona com Restrições – área restante da superfície inundável, onde ocorrem pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribuindo muito na drenagem das enchentes, devendo ser regulamentada. A zona pode ser subdividida em subáreas em usos consistentes para a) parques e recreação considerando manutenção após cada cheia simples e de baixo custo; b) agricultura; c) habitação cuja tipologia inclua mais de um piso, sendo que o piso superior seja situado no mínimo no limite de enchente e protegido estruturalmente contra enchentes; d) industrial e comercial, cujas áreas de carregamento, estacionamento, armazenamento de equipamentos e maquinaria possam ser removidos com facilidade e não estejam sujeitos a danos de cheia. Deve ser proibido o armazenamento de perecíveis e materiais tóxicos; e) serviços básicos: linhas de transmissão, estradas e pontes, projetadas para resistir a cheias;
- c) Zona de Baixo Risco – pequena probabilidade de ocorrer enchentes, sendo atingida apenas em anos excepcionais por pequenas lâminas d'água e baixas velocidades. Definir essa área e delimitá-la é útil para informar para a população sobre a extensão do Risco que está exposta. Não há necessidade de regulamentação quanto a cheias. As medidas individuais de proteção de habitações podem ser dispensadas, mas a população deve ser orientada para a possibilidade de ocorrer enchente e de meio para proteger-se de perdas. Recomenda-se adotar a tipologia de edificações com no mínimo dois pisos, onde o segundo possa ser utilizado em períodos críticos.

A Zona de Restrições e a Zona de Baixo Risco dependem do Risco que julga-se aceitável e que a população deseja assumir para conviver com as enchentes. A regulamentação de zonas de inundação deve ser um processo interativo, em que haja uma proposta técnica a ser discutida com a comunidade antes de ser incorporada ao Plano Diretor Urbano. De fato, não há critérios rígidos para aplicar a todos os municípios, mas recomendações básicas passíveis a seguir em cada caso, dependendo de critérios do bom senso coletivo e do cidadão sobre qual nível de segurança é desejado. A regulamentação das construções no que tange a proteção relativa a enchentes depende da capacidade do proprietário em investir e realizar as medidas cabíveis. A existência de um Plano Diretor aliado à fiscalização possibilita que a municipalidade permita a

construção em áreas inundáveis, desde que atendam a requisitos construtivos ⁶ específicos.

Oliveira et al. (2010) dividem uma bacia vulnerável em zonas:

- a) Zonas de produção dos escoamentos a montante das bacias,
- b) Zonas de passagem nos *talwegs* e riachos,
- c) Zonas que sofrem problemas de inundação.

Nas zonas de produção e de passagem deve reduzir-se e não agravar a inundação. Nas zonas de inundação, o foco deve ser a redução da vulnerabilidade dos bens materiais e das pessoas e medidas que visem a:

- a) conhecer os riscos de inundações (mapear as áreas de risco);
- b) considerar o risco de inundação na utilização das áreas;
- c) considerar as características e tipologia das habitações para reduzir a vulnerabilidade;

Na abordagem de Tucci (2004) o processo decisório envolve a obrigatoriedade de proteger novas construções, identificar lotes vagos em zonas de inundação através do Cadastro Técnico. Além disso, a decisão deve envolver uma discussão ampla dos problemas com a população. O Reordenamento Territorial e a transferência de populações implicam em custos. Sendo assim, o poder público deve planejar a mudança de uso em áreas inundáveis para recreação, esportes e parques evitando que sejam ocupadas por sub-habitações. As enchentes e a situação em áreas de Risco causam a desvalorização imobiliária a curto prazo. No entanto, a médio e longo prazo as parcelas em áreas

⁶ Condições construtivas para edificações em áreas inundáveis e construções à prova de enchentes: conjunto de medidas para reduzir perdas de edificações situadas em várzeas de inundação a) prever ao menos um pavimento em nível superior à cota de cheia que limita a zona de baixo Risco; b) utilizar materiais resistentes à submersão ou a contato com a água; c) proibir armazenamento, manipulação ou processamento de materiais inflamáveis, que coloquem a vida humana e/ou animal em perigo durante enchentes, equipamentos elétricos devem ser mantidos em cotas seguras; d) proteger aterros contra erosões com cobertura vegetal, gabiões ou outros dispositivos, prever o efeito das enchentes nos projetos de esgoto pluvial e cloacal; e) as edificações devem ser projetadas e construídas com estruturas capazes de resistir à pressão hidrostática, que pode gerar vazamentos, empuxos e momentos que exijam ancoragem e resistir à erosão que pode vir a minar as fundações; g) permitir o fechamento de aberturas como portas, janelas e dispositivos de ventilação; h) garantir a estanqueidade e reforço estrutural das paredes de porões e pavimentos subterrâneos; i) reforço estrutural da laje do piso; j) prever válvulas de conduto; k) proteger elementos fixos; l) prever a ancoragem de paredes contra deslizamentos (TUCCI, 2004: 648).

inundáveis são gradualmente valorizadas pelo distanciamento dos desastres do passado. Nesse caso, se o poder público postergar o Reordenamento Territorial, os custos com desapropriações e as dificuldades em criar uma mentalidade de obediência do cidadão à regulamentação será maior. As medidas não-estruturais são menos utilizadas por envolverem intervenções a nível de direito de uso dos imóveis. Porém, sem o auxílio de instrumentos envolvendo a taxa de impermeabilização urbana, áreas de drenagem nas quadras, manutenção de leitos de rios e faixas ciliares e padrão de urbanização compatível com encostas declivosas são dificultados o controle de picos de inundação, de processos erosivos e a manutenção da qualidade da água. O controle de uso e de ocupação do solo é mais barato do que as medidas estruturais, ou obras de engenharia, representando uma vantagem, para países desenvolvidos ou subdesenvolvidos como o Brasil. Além de que atua na prevenção de desastres, inundações e escorregamentos, minimizando perdas, danos e poupando vidas, o que vai ao encontro das prerrogativas da Defesa Civil.

Johnson apud Tucci (2004), aponta as medidas não-estruturais para enfrentamento de inundações em quatro estratégias : regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis, construção à prova de enchentes, seguro e previsão e alerta. A combinação dos itens viabiliza diminuir o impacto de cheias e implementar o planejamento da ocupação de várzeas. O Zoneamento de cheias considera que a ocupação ocorre com Risco, daí a necessidade de utilizar instrumentos para alertar, avisar a população em eventos críticos, quando emergem os riscos como nas enchentes severas. Zonear as áreas de inundação pressupõe algumas etapas; determinar o Risco de enchente e mapear as áreas de inundação a fim de proceder ao zoneamento.

Tucci (2004) descreve que o *Water Resources Council* recomenda que a regulamentação seja orientada pela divisão em distritos e textos explicativos de regulamentos aplicáveis e providências administrativas, juntamente a mapas identificando usos. Assume grande importância complementar o Zoneamento com a subdivisão da regulamentação, orientada por parcelas de terras e estipulando inclusive a possibilidade de dividir parcelas maiores em pequenas dimensões. Deve haver controle sobre os loteamentos, edificação e impermeabilização do solo.

2.4 A abordagem nos estuários litorâneos

Tundisi (2008) destaca que os estuários possuem uma importância fundamental para manter a biodiversidade aquática. Os ecossistemas estuarinos são regiões de transição, cuja alta produtividade biológica e cadeias alimentares estão sujeitas a inúmeros impactos, principalmente os antrópicos. Os estuários são ambientes dinâmicos no espaço e no tempo, incluindo a descarga fluvial, a atuação de marés e variação da salinidade, que tornam os ambientes estruturas muito complexas, superando os rios isoladamente. As condições físicas e fisiográficas delimitam canais, linhas de praia, e outros.

“estuários são formados por movimentos de submergência ou emergência das áreas costeiras, resultantes da movimentação de placas e de efeitos locais, como por exemplo, direção e força das correntes, ação das ondas, deposição de sedimentos transportados por rios ... e efeitos das marés ... padrões de costa ... resultantes da ação mecânica do mar sobre as massas terrestres (formas sequenciais)”(TUNDISI, 2008: 383)

A ocupação urbana crescente, por vezes desordenada, isenta de cuidados quanto ao escoamento superficial produz problemas de drenagem bastante sérios. Em geral as bacias urbanas apresentam inundações e alagamentos constantes gerando transtornos sociais, políticos e econômicos. Em áreas litorâneas as bacias também são sensíveis à salinização de água no subsolo. Caso a área seja densamente povoada as consequências negativas serão tanto maiores quanto a antropização. É necessária uma abordagem conceitual aprofundada para enfrentar os problemas, embasando o planejamento da bacia hidrográfica de forma integrada às águas urbanas em detrimento de obras de canalização e soluções pontuais. O procedimento deve ser pautado na modelagem hidrológica e hidrodinâmica e SIG integrados em simulações. A gestão integrada de bacias costeiras deve contemplar cenários, simulando condições hidrológicas extremas para traçar estratégias de planejamento e gestão territorial. Petrucci e Polemio (2007) lançam possibilidades para mitigar o Risco de inundações correlacionando às modificações na planície costeira do sul da Itália. Note-se que esses modelos e trajetórias históricas associam uma abordagem de longo prazo, de 150, 180 anos ou mais. Aliás, a recomendação em Hidrologia para implementar uma Cartografia de Risco é de que haja essa noção ampla; observando grandes horizontes temporais de eventos perigosos à vida humana.

2.5 A Bacia hidrográfica

Os trabalhos que envolvam as águas no Brasil devem considerar a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e Gerenciamento de Recursos Hídricos. A referida lei utiliza a bacia hidrográfica como unidade territorial e para efeitos de implementação. Um dos seus objetivos é:

“a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.” (BRASIL, 1997: 1)

Dentre as estratégias de ação a lei busca articular a gestão de recursos hídricos com a do uso do solo e integrar a gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, utilizando para tanto instrumentos, a exemplo dos Planos de Recursos Hídricos.

Para Silveira (2004) o elemento fundamental nos processos hidrológicos é a bacia hidrográfica. A mesma é formada pelo conjunto de superfícies vertentes e rede de drenagem composta por cursos d'água que confluem até para um leito único. A bacia é a área de captação natural da água de precipitação pluviométrica, para onde convergem os escoamentos para o exutório. As análises de fenômenos hidrológicos e do comportamento da bacia são relevantes para a magnitude da cheia, onde sobressai a relação de dependência entre topologia da bacia, geomorfologia, tipo de solo, fisiografia e outras características.

É fundamental conhecer detalhadamente a bacia através de informação em escala cadastral⁷, solos⁸, condições de umidade⁹ e tamanho da bacia¹⁰, tipos de eventos de precipitação pluviométrica (TUCCI, 2004).

⁷ As informações de interesse para os estudos de drenagem urbana são a área da bacia, suas condições de impermeabilização, as obras de engenharia como pontes e modificações nos rios para regularização de vazões, que tendem a reduzir o pico e distribuir o volume, enquanto a canalização aumenta o pico.

⁸ Tipo A - solos arenosos profundos com pouco silte e argila produzem baixo *run off*,

Tipo B – solos arenosos menos profundos e com permeabilidade superior à média menos permeáveis que o anterior,

Tipo C – solos contendo percentagem considerável de argila e pouco profundos, que geram escoamento superficial acima da média e capacidade de infiltração acima da média,

Tipo D – solos contendo argilas expansivas e pouco profundos (TUCCI, 2004).

⁹ Associa-se a cobertura vegetal, depressões, camada superior do solo e existência de aquíferos

¹⁰ O tamanho da bacia é importante, pois a resposta hidráulica ocorre de maneira diferenciada. Em bacias pequenas (< 500 km²), as precipitações convectivas de alta intensidade, pequena

Chevallier (2004) ressalta a topografia dentre os parâmetros de descrição do meio receptor. A bacia hidrográfica é a forma mais simples da paisagem e permite avaliar as feições e características de drenagem. Incorporar a bacia como unidade de planejamento em todas suas dimensões e processos implica também em mudanças de paradigmas para conceber e projetar, analisar e aprovar loteamentos.

É possível inovar em Defesa Civil ao utilizar a bacia hidrográfica para mapear os riscos de inundação e embasar os planos e gestão territorial, (DE MOEL et alia, 2009).

2.6 Análise de riscos geoambientais nos estuários-litorâneos

Há diversos riscos em zonas costeiras, inundações, movimentos de massa, corrida de detritos, marés-altas e tsunamis, (GARCIN et alia, 2008). A localização e a tipologia da linha de costa, monitoramento de marés e de processos de transgressão marinha e mapas são especialmente úteis para embasar um SIG, realizar análises, cruzar temas e mostrar a distribuição geográfica, a localização de manchas e áreas mais vulneráveis a riscos e perigos e elevação de marés (PETRUCCI e POLEMIO, 2007).

Responder aos impactos das Mudanças Climáticas Extensas depende de discutir impactos em diversos níveis, estratégias de adaptação para reduzir a vulnerabilidade à inundação envolvida em processos de ENM. Conhecer os impactos da maré-alta em costas baixas é útil para planejamento e gestão, edificação coerente e para aumentar a percepção do risco (SCHINKEL et alia, 2011).

Deve-se identificar onde estão as áreas mais vulneráveis a inundações, aquelas mais baixas e estuários litorâneos, mais facilmente atingidos por desastres naturais e no que podem ser preparadas para reduzir a vulnerabilidade frente a impactos de catástrofes (MARCHAND, 2009).

O desenvolvimento de cenários serve para avaliar os impactos sociais e econômicos de inundações de rios e de marés. A vulnerabilidade de estuários e costas baixas deve ser combinada à maré-alta e às tendências de elevação do nível do mar (GALISKOVA et alia, 2011).

duração e distribuídas numa pequena área provocam as grandes enchentes. Em bacias maiores as precipitações mais importantes são as frontais, que atingem grandes áreas com intensidade média. As grandes bacias tendem a amortecer o escoamento hídrico (TUCCI, op. cit).

Estuários litorâneos são corpos d'água transicionais, cuja dinâmica alterna fluxo de água doce, salobra e salina. Os assentamentos humanos desestabilizam o equilíbrio, causando o colapso de redes ecológicas, sendo o limiar de processos de risco, pela sensibilidade ambiental e baixa resiliência a perturbações (WOLANSKI, 2007).

Otto-Zimmermann (2011) destaca a importância de adaptação a Mudanças Climáticas para reduzir a vulnerabilidade em áreas urbanizadas, onde os impactos assumem efeitos desestabilizadores. Fernández-Lavado et alia (2007) consideram picos de vazão, paleoníveis do mar, geomorfologia costeira e cenários estuarinos para gerar simulações de perigos o mais próximas da realidade.

Um mapa de vulnerabilidade representa o modelo de inundação superposto a base cartográfica em escala cadastral, detectando as áreas baixas, bairros, avenidas, ruas e casas afetadas por inundações de maré-alta, (SCHINKEL et alia, 2011; TAUBENBÖCK et alia, 2011; MARCHAND, 2009). Em locais onde a ocupação do solo ocorre com o risco (TUCCI, 2004) é indispensável o zoneamento de cheia e aumentar a percepção do risco dos habitantes em discussões de risco através de abordagem detalhada (MARTENS et alia, 2009)

As tendências de Mudanças Climáticas (UNISDR, 2007; WMO, 2007) enfatizam a necessidade de abordagem conceitual coerente, métodos, indicadores e sistemas capazes de auxiliar na prevenção em Defesa Civil em “desastres naturais” *Hyogo Framework* 2005-2015. As ferramentas que atuem na preparação e previsão são essenciais para o enfrentamento de impactos de inundações; evitando perigos a integridade física e a vida humana, danos, e outros.

A pesquisa e desenvolvimento de instrumentos capazes de identificar e medir a extensão planimétrica e cotas altimétricas de profundidade em áreas inundáveis necessita ainda de inovação, frente a lacunas, inclusive metodológicas (MARCHAND, 2009).

2.6.1 O risco de inundações

Holub e Fuchs (2009) destacam que o grande problema são os mapas em escala temporal mais ampla, não influenciarem a decisão de planejadores de uso e ocupação do solo e de habitantes.

Kienberger, Lang e Zeil (2009) utilizaram a bacia hidrográfica e os temas: área, extensão de rios, altitudes, declividades, áreas de domínio de rio, geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, infraestrutura, habitantes, padrões de ocupação, relevo, padrão geomorfológico, regimes de rios, precipitação pluviométrica, efeito de bloqueio, dentre outros temas, e eventos de magnitude e da taxa de frequência $T=50$ e $T=100$ anos para identificar riscos, visualizando e medindo áreas afetadas em SIG.

A “*European Floods Directive*” normatiza a inundação $T=100$ anos, evento de probabilidade de média ocorrência para efeitos de avaliação de riscos e perigos e cenários de alta e de baixa probabilidade para descrever as consequências de inundações. Os cenários unem cheias ocorridas, projetadas, limites das manchas de inundação, níveis d’água em sistemas de tempo real. O mapeamento é apoiado por mapa de registros e planta digital, ortofotos e outros produtos. Os mapas atuam para aumentar a percepção do risco e nas características humanas mais básicas do comportamento humano; negligenciar e negar. A abordagem da inundação de referência varia conforme o país. A Alemanha utiliza $T=100$ anos, abordando as consequências legais, banimento de construções e restrições ao uso. Na Grã-Bretanha usa-se $T=1.000$ anos para aumentar a percepção do risco, mas não há resultados legais. A Suíça reúne dois tipos de zonas de risco, combinando intensidade e probabilidade de excedência de evento. Os suíços detêm os mapas de risco mais avançados da Europa, os quais têm consequências legais na zona vermelha banindo ou restringindo as construções e na zona azul, restringindo as construções de novas edificações, prevendo proteções e medidas de prevenção. A abordagem é similar à encontrada na Áustria e nas províncias que compõem o Trentino-Alto Adige na Itália (HAGEMEIER-KLOSE e WAGNER, 2009).

Os assentamentos humanos em estuários litorâneos desestabilizam o equilíbrio dos ecossistemas, que por características intrínsecas são ecologicamente frágeis e tem baixa resiliência frente a perturbações, causando o colapso e atuando como limiar de processos de risco e perigo (WOLANSKI, 2007; TUNDISI, 2008).

2.6.2 Drenagem e o estudo de cheias

A inundação de áreas ribeirinhas, para Tucci (2004), é resultado da precipitação pluviométrica intensa, em quantidade superior à capacidade de drenagem do rio. Os impactos de inundações dependem do grau de ocupação da várzea e da frequência na qual ocorrem os desastres.

A piora nas enchentes em áreas urbanizadas deve-se a falta de ordenamento territorial nas ocupações e/ou um planejamento¹¹ falho em aspectos fundamentais:

- a) processo histórico de ocupação de áreas ribeirinhas, seja leito menor e leito maior de rio; aumento da vazão máxima, agravando inundações e escorregamentos severos;
- b) aceleração de erosões e produção de sedimentos, degradação ambiental e deterioração da qualidade da  gua (Schmalz et alia, 2007) e transferência de impactos para jusante.

Os efeitos oneram em custos altos o controle de desastres. Por outro lado, os danos e prejuízos podem ser reduzidos através do planejamento, gestão urbana e de drenagem, o que perpassa por uma  tica ecossist mica. Planejar o desenvolvimento supõe conhecer, quantificar e projetar os impactos da urbanização sobre o escoamento e nível de microbacia e de macrobacia, cujas vulnerabilidades expõem os problemas de uma bacia hidrográfica.

Petrucci e Pasqua (2008) recomendam que desastres hidrogeológicos como escorregamentos e inundações, que causem danos às pessoas e ao meio físico, sejam o ponto de partida para o zoneamento de uso e ocupação do solo para estabelecer planos de Defesa Civil, para gerenciar emergências e para priorizar medidas de mitigação. Recomenda-se a hierarquização e categorização de índices e tipos de danos, identificação de áreas vulneráveis e de densidade populacional.

Dorner et alia (2008) classificam que o pico de inundações e vazões máximas são funções ligadas a características da superfície de drenagem. Qualquer modificação que ocorra sobre a mesma, como a impermeabilização do solo, terá impacto sobre o escoamento superficial

¹¹ O planejamento urbano não especifica parâmetros para arruamento e distribuição das quadras, mas condicionantes para uso e ocupação.

e afetar locais a jusante. A combinação de modelos hidrológicos e hidráulicos permite gerar vários cenários e verificar quais serão os impactos possíveis inclusive a nível econômico.

Manfreda (2008) descreve que o escoamento superficial relaciona-se a um “modelo”, a uniformidade e heterogeneidade na bacia, e realça o papel desempenhado pelo clima e características físicas da bacia.

Para Miglietta e Regano (2008) é recomendável utilizar dados constantemente atualizados transmitidos de estações de observação, sensores remotos para estudo de inundações bruscas em zonas montanhosas¹² capazes de causar danos severos e fatalidades devido à rapidez do desastre. Davolio et alia (2008) complementam que os erros existentes mesmo em sensores de alta resolução devem ser considerados, inclusive em diversas escalas para múltiplos propósitos.

Crow e Ryu (2009) indicam que, muito embora os sensores remotos possam gerar uma previsão de aumento do escoamento superficial, é necessário cuidado na alimentação de modelos hidrológicos com parâmetros sobre solos.

Pesquisas recentes mostram que é preciso filtrar os erros de chuva prevista por imagens de satélite e monitorar as condições do solo pré e pós tempestade. O método sugere que sejam desenvolvidas abordagens inovadoras mais eficientes para melhorar a previsão de vazões.

Bründl et alia (2009) aconselham uma abordagem baseada no Risco para a gestão de desastres naturais. Os instrumentos para o planejamento territorial permitem embasar a decisão, melhorando a abordagem integrada junto à comunidade. No entanto, os estudos precisam ser constantemente atualizados.

Os critérios pico de vazão máxima, paleoníveis da linha d'água e geomorfologia são importantes no caso de áreas costeiras e de estuários conclui (FERNÁNDEZ-LAVADO et alia, 2007).

¹² O relevo desempenha um papel importante na precipitação pluviométrica em zonas montanhosas provocando instabilidade de massas de ar por correntes de convecção (orográfico). É pertinente utilizar os modelos da previsão meteorológica para realizar simulações realísticas precisas para o local, quantidade de chuva. Há que se considerar uma abordagem sinérgica desse tipo conjugada a meio físico, ou seja, do relevo, da geomorfologia e do tipo de solos e considerar os episódios pluviais intensos (MIGLIETTA e REGANO, 2008).

As dificuldades dos estudos de inundações estão ligadas à ausência de dados climáticos e históricos sobre as enchentes nas áreas urbanas.

Ainda é possível avançar muito no estudo de cheias e de inundações, porque há muitas lacunas no desempenho de modelos numéricos e matemáticos para simular enchentes em rios e áreas urbanas, considerando o escoamento dinâmico fora da calha, ruas e galerias como ramificações do rio, interfaces e confluências, evidenciando as limitações de modelos e buscando aperfeiçoá-los.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seção descreve os equipamentos, software, dados, método de processamento e análise utilizados para desenvolver a pesquisa.

3.1 Materiais e equipamentos

Utilizou-se na pesquisa os seguintes equipamentos:

- a) Computador Pentium Quad Core 2 Duo com HD de 1 Tera e 8G de memória RAM;
- b) Software ArcGIS 9.2 e Planilha eletrônica para realizar cálculos complementares;

Os softwares descritos que foram utilizados no trabalho são licenciados para o Laboratório de Fotogrametria Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Para o desenvolvimento de mapas temáticos foram utilizados os materiais cedidos pela Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ) / Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento:

- a) Restituição Aerofotogramétrica de 2007: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão/Prefeitura Municipal de Joinville. 2007. Base Cartográfica do Perímetro Urbano de Joinville Escala 1:1.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, Ano de 2007.
- b) Ortofotos (2007 - escala 1:1.000); Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão/Prefeitura Municipal de Joinville. 2007. Ortofotos. Escala de Vôo 1:5.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, Ano de 2007
- c) Modelo Numérico de Terreno - MTN (2007 – levantamento com o sensor *Airborne Laser Scanner – ALS* 2007 – altimetria com distância de 20cm em 20cm entre curvas de nível) e diversos outros arquivos temáticos em escala 1:1.000;
- d) Modelo de inundação de maré-alta no nível 1,6m e 2,5m e de inundação de precipitação para período de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos desenvolvidos por Oliveira et al. (2010).

Os modelos de marés-altas foram calibrados e validados por aqueles autores usando o software XTide (DAVID FLATTER, 2011). Além disso utilizaram o software HEC-HMS; *The Hydrologic Modeling System* e HEC-RAS; *The Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* desenvolvidos pelo *US Department of Defense, US Army Corps of Engineers* para simulações hidráulicas.

Outros materiais utilizados foram os referenciais teóricos e relatórios.

3.2 Métodos

O eixo da pesquisa é a superposição de modelagem à cartografia em uma bacia hidrográfica; estuário litorâneo, para analisar inundações.

Utiliza-se a superposição de modelos de marés-altas e de cheias geradas por precipitação pluviométrica a feições temáticas, por meio de Sistema de Informação Geográfica.

A síntese das etapas e atividades que compõem o desenvolvimento da pesquisa encontram-se no Quadro 1 e Fig.1.

Quadro 1 - Síntese das etapas e atividades de pesquisa

ETAPA	ATIVIDADE
1. pesquisa bibliográfica	definição do método de desenvolvimento de mapas temáticos e definição da área de estudo.
2. busca de dados	seleção dos dados disponíveis na Prefeitura Municipal de Joinville / Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento, Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLAN) e Secretaria de Infra-estrutura (SEINFRA) da PMJ.
3. elaboração de mapas temáticos e tabelas	utilização de softwares Arcgis 9.2 e de planilha eletrônica;
4. análises de resultados	Leitura qualitativa e quantitativa de mapas e de quadros.
5. conclusões e recomendações	apresentação das conclusões geradas por meio das análises dos resultados indicando as recomendações quanto a medidas não estruturais; planejamento de uso e ocupação do solo e reordenamento territorial na bacia hidrográfica e para pesquisas futuras.

O Esquema das etapas é ilustrado na Figura 1.

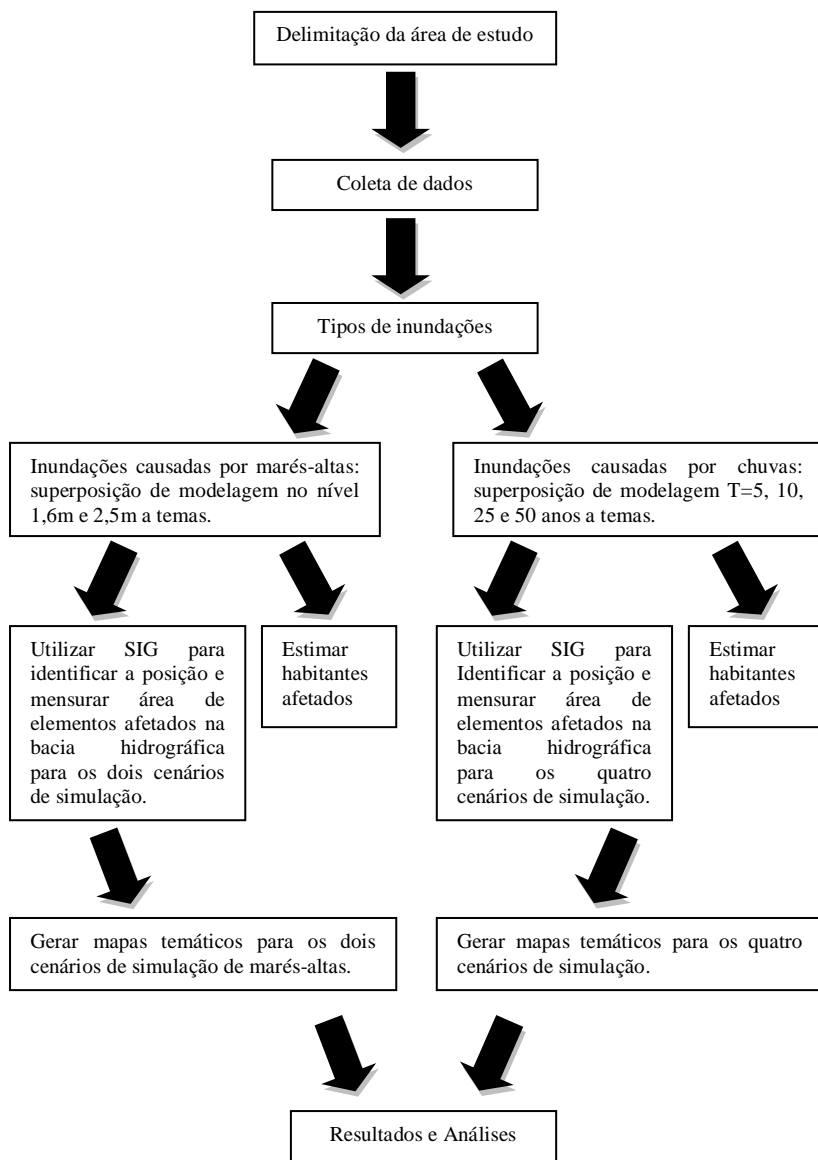


Fig. 1. – Esquema do método da pesquisa

3.2.1 Considerações acerca da importância do material e acesso a produtos cartográficos

É indispensável ressaltar a importância dos materiais de pesquisa em escala grande. Destaca-se inerente a isso o município de Joinville, tanto no Estado de Santa Catarina, quanto no cenário nacional no Brasil, enquanto detentor de material de tal valor e do sem-número de possibilidades oferecidas pelo mesmo.

Apesar disso, o acesso a dados e informação geográfica para realização das análises nesse trabalho foi um processo bastante demorado, demandando anos de solicitações (2006-2011) junto ao poder público.

A cessão de informações geográficas se iniciou apenas no mês de agosto de 2009 e a cessão de informações de hidrologia, hidráulica e infraestrutura ocorreu apenas entre março e abril de 2011.

Os produtos cartográficos e temáticos, em escala 1:1.000, e as modelagens, que utilizaram as mesmas fontes, constituem um material de grande valor para o estudo de inundações.

3.2.2 Análises de elevação do nível do mar

Utilizou-se a análise exploratória de referências bibliográficas e relatórios, para analisar o processo de elevação do nível do mar. O estudo assumiu a abordagem multidisciplinar de estudos do Quaternário, do monitoramento *Global Sea Level Observing System (GLOSS)*, dentre outros aspectos pertinentes.

Os paleoníveis do mar foram analisados mediante crítica de referencial teórico e de pesquisas correlatas. A investigação visa gerar suporte a decisão acerca da perspectiva futura de piora nas inundações no estuário do rio Cachoeira, devendo ser considerada para implementar discussões de cheias geradas por marés-altas e por precipitações pluviométricas.

3.2.3 Análises espaciais das inundações geradas por marés-altas e por precipitação pluviométrica

Procedeu-se, inicialmente, a uma triagem de material, avaliando o que havia disponível para suporte às análises. Os arquivos e feições cartográficas e temáticas foram avaliados considerando o potencial e as

possibilidades para desenvolver o mapeamento, quais mapas eram necessários e que poderiam efetivamente ser produzidos.

Diversos autores propõem métodos de superpor modelos de inundação à cartografia e temas, através de Sistema de Informação Geográfica (FERNÁNDEZ-LAVADO, 2007; GARCIN et alia, 2008; HAGEMEIERS-KLOSE e WAGNER, 2009; KIENBERGER, LANG e ZEIL, 2009; MARCHAND, 2009; MARFAI, 2003; PETRUCCI e POLEMIO, 2007; SCHINKEL et alia, 2011; TAUBENBÖCK et alia, 2011; TUCCI, 2004), e outros para realçar as áreas afetadas.

A superposição de modelagem a feições temáticas teve suporte em análise fotográfica e cartográfica e na interpretação de cenários de inundações causadas por marés-altas no nível 1,6m e 2,5m e de cenários de inundações causadas por precipitação pluviométrica, cujos períodos de retorno (T) são de 5, 10, 25 e 50 anos.

3.2.4 Análises espaciais em ArcGIS

O conceito das ferramentas limites de corte “*clipping*” e interseção “*intersection*” do software ArcGIS provém da Matemática, envolvendo funções de articulação de informação. Apesar de o conceito fundamental ser simples, as análises dependem muito da disponibilidade de informação espacial, de sua qualidade, quantidade, detalhes e do refinamento cartográfico, capaz de fornecer respaldo a análises espaciais, pesquisas de desastres naturais e desenvolvimento de mapeamento de inundações.

Realizou-se a análise em SIG, utilizando software ArcGIS 9.2 para fins de geoprocessamento. A informação foi também exportada para planilha eletrônica para cálculos complementares e comparações. Para realizar-se a análise espacial e gerar os mapas temáticos propostos o software ArcGIS 9.2, cuja explanação foi realizada por diversos autores como Hillier (2011), Trocado (2007), sendo combinada e descrita a seguir.

Após adquirir-se ou construir-se a informação geográfica e a tabela de atributos realizam-se as operações de análise espacial, que permitem relacionar espacialmente diversas camadas de informação, para chegar ao objetivo. Há diversas operações de análise espacial no software *ARCgis* no módulo *ArcToolbox*. As funções de análise espacial utilizadas nessa pesquisa encontram-se disponíveis nesse módulo.

3.2.5 Funções de análise

Utiliza-se nessa pesquisa a função limites de corte e intersecção. A primeira função serve para separar a informação, enquanto a segunda para superpor informações. Em termos de geometria as funções constituem operações de corte e de intersecção geométrica. A função limites de corte possibilita que o usuário transforme um arquivo em uma ferramenta de corte para cortar um outro arquivo maior.

3.2.5.1 Função limites de corte ou “clip”

A operação com a função limites de corte usa uma camada de corte, uma camada de polígonos para cortar a informação de entrada, sejam elas linhas, pontos ou polígonos.

A função está no *ArcToolbox*, em “*Analysis Tools*” e “*Extract*.” Clicando-se aparece a próxima tela, para selecionar a feição de entrada; a camada a operar os limites de corte e qual é a feição de corte.

Por exemplo, se o usuário possui a rede de bairros e a rede de lotes municipal, mas precisa desenvolver a análise em uma bacia hidrográfica, aplicam-se os limites da bacia para o corte.

O resultado da operação com a função limites de corte gera a rede de bairro e de lotes da Bacia Hidrográfica, vide ilustração do ArcGIS na Figura 2. A vantagem da função é otimizar o trabalho, pois usar um arquivo cortado facilita a operação com um arquivo menor, mais facilmente manuseável e adequado.

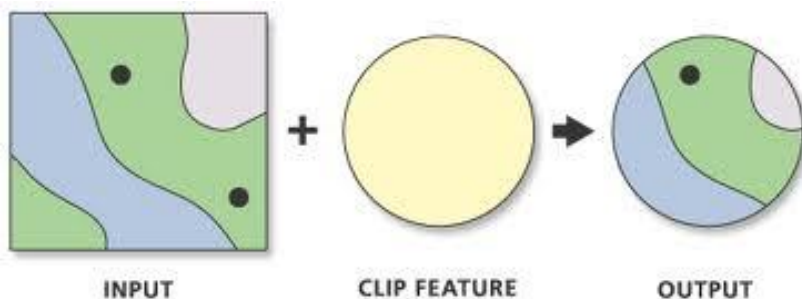


Fig. 2. – Esquema da função “clip”. Fonte: ESRI (2011a).

A nomenclatura *default* para o novo arquivo será dada pelo nome da feição justaposto à terminação “_Clip.” Caso o usuário queira modificar o nome desse arquivo ou a posição, clica-se na pasta com o botão direito e seleciona-se a tolerância de “cluster” em zero. É possível combinar as camadas, ainda que não sejam coincidentes.

3.2.5.2 Função intersecção ou “*intersection*”

A operação com a função Intersecção, vide esquema do ArcGIS na Figura 3, realiza o corte de um conjunto de camadas de entrada com uma camada de sobreposição. A camada de saída tem informação de ambas as camadas. A intersecção é recomendada para integrar no mínimo dois conjuntos de camadas informação espacial, guardando apenas as entidades comuns, ou seja, que se sobrepõe na área de intersecção. A entrada pode ser linhas ou polígonos, mas a camada de sobreposição deve ser necessariamente formada por polígonos.

As entidades não encontradas na área de sobreposição não são adicionadas a camada resultante. A tabela de atributos resultante inclui informações tanto de entrada quanto de sobreposição. Tendo a rede de lotes da bacia, o usuário pode utilizar a função Intersecção para a análise de inundações. Procede-se ao corte das camadas de entrada (limites de bairros e lotes) com a camada de sobreposição (modelo de inundação), resultando na camada de saída, bairros afetados e lotes afetados.

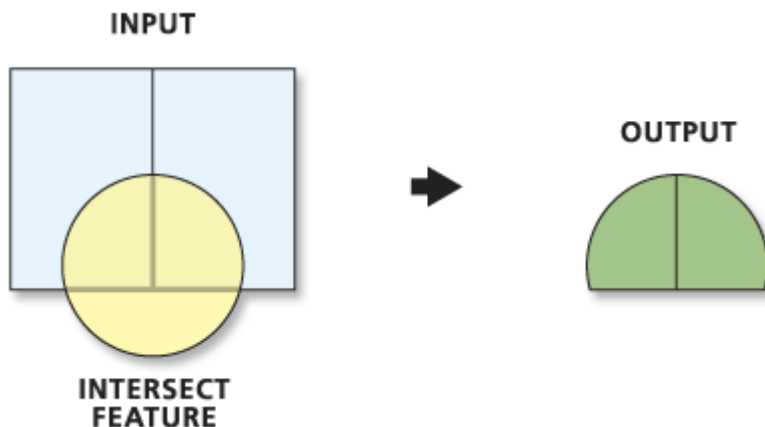


Fig. 3. – Esquema da função “*intersection*”. Fonte: ESRI (2011b).

A função Intersecção possibilita ao usuário combinar duas camadas que tenham feições em comum, gerando um novo arquivo. O arquivo resultante possui atributos de ambas as camadas dentro da área comum.

Em termos operacionais a função Intersecção combina a função União ou “Union”¹³ e função limites de corte. O usuário pode interceptar dois polígonos ou uma linha e um polígono. A função Intersecção pode ser encontrada no *ArcToolbox*, em “*Analysis Tools*” e “*Overlay*.” Abre-se uma janela para selecionar as feições de entrada, conforme foi mostrado na Figura 3. A denominação “*default*” para o novo arquivo será o nome da feição de entrada inicial justaposto a “_Intersect.” É possível modificar esse nome ou a posição do arquivo.

Se o usuário interceptar uma linha e polígonos ou “*polygon layers*”, obtém-se um arquivo que contém polilinhas. A intersecção de “*polygon layers*” gera um arquivo com polígonos. Verifica-se que a função Intersecção distorce os valores de medidas, comprimento, perímetro e área, sendo necessário recalculá-los. De modo análogo, outros atributos serão errôneos devendo também ser recalculados. Aconselha-se que seja realizado um ajuste da tolerância de “*cluster*” para evitar discrepâncias entre polígonos não coincidentes.

3.2.6 Superposição de produtos cartográficos, temáticos e ortofotos à modelagem

Os procedimentos e rotinas de geoprocessamento utilizados foram realizados para inter-relacionar Cartografia, altimetria e maré-alta, visando detectar áreas mais críticas à inundação e a posição de terras

¹³ União ou “Union” - A função serve para gerar uma nova camada, cujas entidades e atributos estejam contidos nas camadas de entrada. A informação geográfica de ambas as camadas é atualizada na nova camada gerada. A União é uma função semelhante à Intersecção, pois combina os limites e extensão das duas camadas. Por outro lado, não atua como a função “*clipping*”, anteriormente descrita, cujo arquivo resultante inclui apenas a área coberta por ambas as camadas, gerando um novo arquivo que abrange a combinação das camadas. No *ArcToolbox* encontra-se a função União em “*Analysis Tools*” e “*Overlay*.” Seleciona-se as feições de entrada. A denominação “*default*” dada ao novo arquivo é formada pela justaposição do nome da feição de entrada a “_Union.” Pode-se modificar o nome do arquivo novo e a posição do mesmo. Em analogia aos arquivos gerados por Intersecção, os gerados por União apresentam valores de atributos errôneos. As variáveis comprimento, perímetro e área devem ser recalculadas (HILLIER, 2011; TROCADO, 2007).

atingidas por elevação de maré no nível 1,6m e 2,5m. O mesmo procedimento foi aplicado para realizar a superposição de modelagem de inundações com período de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos a feições temáticas e ortofotos para mostrar locais afetados, medir áreas inundadas, bairros, vias, lotes e analisando o Zoneamento, geologia, e outros. Os mapas gerados permitem ao usuário do SIG gerar planilhas quantitativas, mapas e demais interpretações e explicações. Produziram-se mapas temáticos apresentados ao longo da tese em A5 e no formato A0 constando na mídia digital em anexo ao fim do trabalho.

3.2.6.1 Considerações acerca de cálculos em bairros e lotes

Outros cálculos foram realizados exportando os “*outputs*” do ArcGIS para a planilha eletrônica. Compararam-se as manchas de inundação com a informação populacional por bairro fornecida pela Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ) com base em 2008.

Uma vez que os dados populacionais não estão atualizados para 2011, isso pode introduzir algumas incertezas quanto a número de pessoas afetadas em caso de inundação, tanto para os 2 cenários de maré-alta quanto para os 4 cenários de precipitação pluviométrica.

Os cálculos de habitantes afetados nos bairros foram realizados considerando a área inundada por maré-alta e por inundação produzida por precipitação pluviométrica. O número de habitantes afetados no lote depende do tipo de uso e da taxa de ocupação.

Realizou-se a superposição entre os mapas gerados previamente aos limites de bairros e dados populacionais disponíveis na Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLAN) da PMJ.

3.2.6.2 Cálculos de áreas, bairros e lotes afetados

A mensuração de áreas de inundação para os cenários de maré-alta no nível 1,6m e 2,5m e de inundação gerada por precipitação pluviométrica para (T) 5, 10, 25 e 50 anos ocorreu a partir da medida em cada um dos cenários no ArcGIS com a função área. Mediu-se a área de cada cenário individualmente. Mediu-se a área de cada bairro. Mediu-se a área de bairro inundada em cada cenário (mapa temático), seja marés-altas e cheias de rio. Calcularam-se porcentagens e elaboraram-se quadros ilustrativos em planilha eletrônica. A mensuração de lotes seguiu o mesmo procedimento.

3.2.6.3 Identificação de áreas do Zoneamento afetadas

Realizou-se a superposição entre manchas de inundação obtidas previamente ao Zoneamento do município de Joinville e áreas naturalmente inundáveis com as funções “clip” e “intersection”, obtendo-se os locais afetados por inundações. Mensurou-se a extensão atingida com a função área.

Uma vez que há 47 de tipos de uso do solo previstos, agruparam-se os mesmos em 4 tipos para interpretação. Nomearam-se os tipos de uso do solo: área comercial; especial; industrial e residencial. Identificaram-se quais eram esses tipos de uso do solo nos cenários de inundação em ArcGIS. Calcularam-se porcentagens e elaboraram-se quadros ilustrativos em planilha eletrônica.

3.2.7 Estimativa de habitantes afetados

A estimativa de habitantes afetados foi realizada através do cruzamento das áreas medidas em cada um dos cenários de inundação. Estas estimativas foram geradas por maré-alta no nível 1,6m e 2,5m e de inundação de precipitação pluviométrica para tempo de retorno (T) 5, 10, 25 e 50 anos cruzados com dados numéricos demográficos, da população de bairros da Prefeitura Municipal de Joinville e IPPUJ - Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville com base em 2008.

Procedeu-se as seguintes etapas:

- a) Identificaram-se os bairros afetados nos produtos gerados (mapas temáticos) pelas análises espaciais em que se operaram as funções “clip” e “intersection” para os cenários de inundação de maré-alta no nível 1,6m e 2,5m e de inundação de precipitação pluviométrica para (T) 5, 10, 25 e 50 anos;
- b) Mensuraram-se as áreas de bairros e mensuraram-se as áreas afetadas por inundação em ArcGIS para cada cenário;
- c) Realizou-se uma estimativa de habitantes afetados com base na extrapolação da área de cada bairro afetado e realizou-se o cálculo de percentuais em planilha eletrônica e elaboraram-se quadros ilustrativos compilando as estimativas.

A estimativa da quantidade de habitantes afetados apresenta certa imprecisão, uma vez que a concentração populacional não pode ser distribuída nos mapas temáticos. Pode haver maior ou menor quantidade de habitantes afetados, dependendo da densidade demográfica.

Não houve acesso a dados domiciliares, dentre outros dados, o que impossibilitou a análise de famílias afetadas e outros refinamentos de análise no nível de edificação como vulnerabilidade social, e outros.

3.2.8 Estimativa de cenários

A comparação de áreas nos cenários atuais e futuros utilizou a estimativa de Oliveira et al. (2010) na drenagem, constando:

- a) Cenário atual – reflete o comportamento da bacia do Cachoeira;
- b) Cenário tendencial – representa o comportamento da bacia no futuro por aumento da urbanização e ausência de intervenções.

A estimativa de habitantes afetados foi realizada por extrapolação da população dos bairros, tanto para os cenários atuais quanto para os cenários futuros. A projeção populacional futura considerou a informação de Oliveira et alia (id.). Os mesmos utilizaram dados de diversas secretarias, Prefeitura Municipal de Joinville e do IPPUJ, com ano base de 2008, e realizaram projeção para o ano de 2035, determinando tendências de crescimento através dos dados do IBGE através de série histórica de 30 anos e obtendo taxa de crescimento anual de 1,62% em 2008 e redução anual média de 0,05 %. A partir do ano de 2020 utilizou-se a taxa de 1% aa, o que significa uma taxa vegetativa.

3.2.9 Fotos em campo

As fotos de entorno e de padrão construtivo foram realizadas por amostragem em dois bairros afetados por marés-altas e inundações de precipitação pluviométrica, um de baixa e outro de alta renda.

Selecionou-se o bairro Fátima e o bairro América, utilizando informações de IPPUJ (2008). No primeiro bairro a renda per capita está na faixa de R\$ 171,69 a R\$ 279,34 e no segundo a faixa de renda per capita é de R\$ 1.102,73 a R\$ 1.764,31. A tomada de fotos ocorreu no mês de Maio nos seguintes logradouros; Rua Max Colin e Rua Begônia, respectivamente.

4. ÁREA DE ESTUDOS

4.1 Localização

O município de Joinville situa-se a nordeste do Estado de Santa Catarina entre os paralelos 26°05'00" e 26°25'00" S e entre os meridianos 48°45'00" e 49°15'00" W. A bacia do rio Cachoeira é uma extensa planície de inundação conformada pela geomorfologia em 84,82 km².

A bacia do Cachoeira é composta por 7 sub-bacias menores; Cachoeira, Bom Retiro, Mirandinha, Morro Alto, Mathias, Jaguarão, Itaum-Açu e Itaum-Mirim, drenando para a Lagoa de Saguazu, Baía da Babitonga e Oceano Atlântico, caracterizando um estuário-litorâneo. A bacia drena para a Baía da Babitonga, que é o maior complexo de manguezais do Atlântico Sul e muito importante em processos ecológicos e nos estoques pesqueiros oceânicos, vide Fig. 4, Fig. 5 e Fig. 6.

A bacia do Cachoeira, inserida no Complexo Hídrico da Baía da Babitonga, é um estuário classificado como Banco de Deposição, nos tipos fisiográficos de Fairbridge (1980) e Tundisi (2008).

As zonas costeiras são áreas naturalmente inundáveis devido à geomorfologia e hidrologia. A intervenção antrópica modifica o meio físico desequilibrando as planícies litorâneas. O adensamento populacional nessas áreas tende a piorar as inundações, que são registradas desde 1851. No momento atual há processos de transgressão marinha, ou elevação do nível médio do mar/ N.M.M., o que intui conhecer o comportamento da bacia.

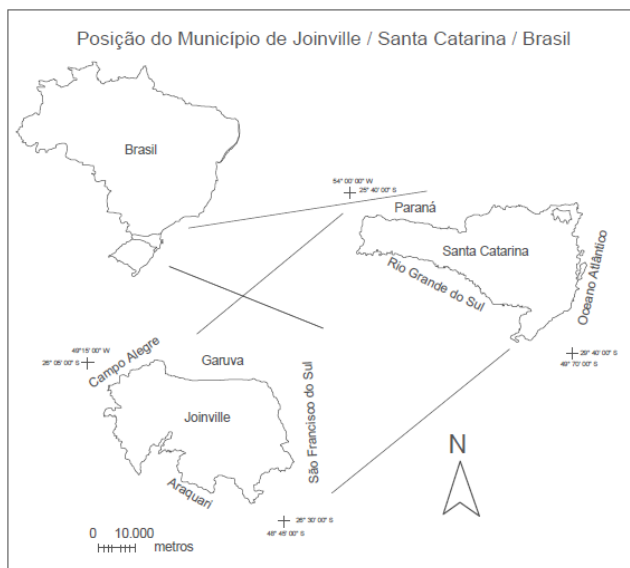


Fig. 4. – Posição de Joinville no Brasil e no Estado de Santa Catarina.
Fonte: adaptado de Schuch (2011)

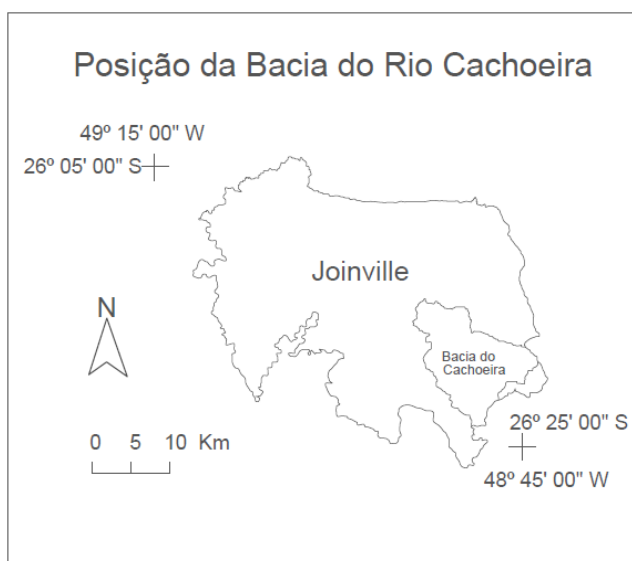


Fig. 5. – Bacia do rio Cachoeira. Fonte: adaptado de Schuch (op. cit.)

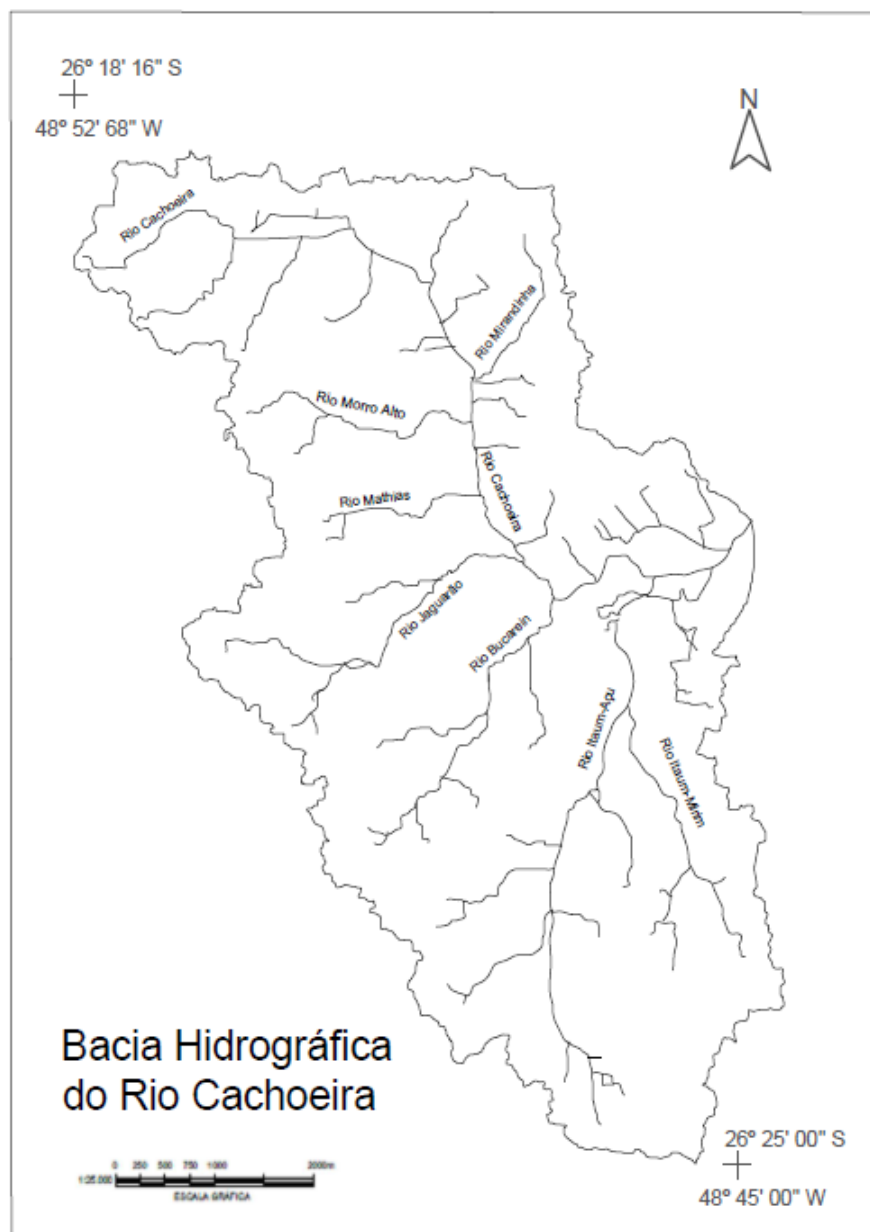


Fig. 6. – Hidrografia da bacia. Fonte: adaptado de Oliveira et alia (2010)

4.2 Clima

O clima de Joinville é do tipo Subtropical. Conforme a classificação de Köppen o clima é do tipo mesotérmico, úmido, Cfa, com verões quentes e inverno relativamente frio, sem estação seca.

As condições do clima são resultado do encontro de massas de ar tropical atlântica e de massas de ar polar, além de efeito orográfico da Serra do Mar. A região ainda encontra-se sob influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, o que produz episódios pluviais intensos. A taxa pluviométrica é de 2.170 mm por ano, o que a princípio assegura vazão permanente de recursos hídricos nos cursos d'água e dilui poluentes. A umidade relativa do ar média é de 85% e a temperatura média anual encontra-se na faixa entre 20 ° a 22 ° Celsius.

Há grande recorrência de eventos extremos de precipitação pluviométrica em Joinville, sendo analisados por Silveira et alia (2009) entre 1851 e 2008. Tal estudo apresentou os registros de precipitação pluviométrica entre 1851 e 1960, vide Fig. 7, partindo das anotações de Johann Paul Schmalz e de seu filho Adalberto. Nessa época, a situação climática era apontada como resultado da vegetação nativa abundante. Na visão de Schmalz (1989) a devastação das matas primárias influenciou na redução da precipitação pluviométrica e aumento da temperatura.

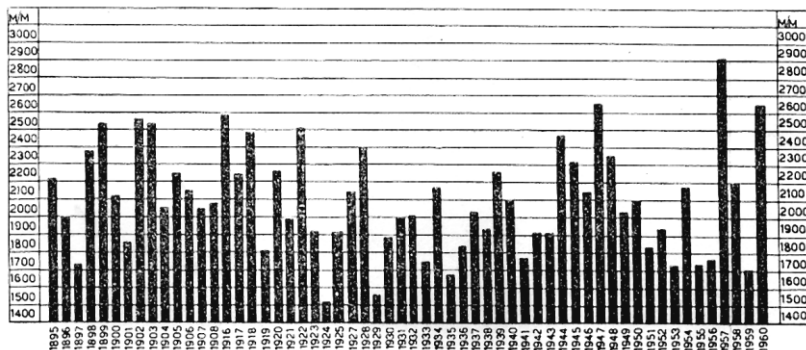


Fig. 7. - Séries históricas de precipitação pluviométrica anual para o Joinville entre 1895 a 1960. Fonte: Correio da Tupy (1961 apud SILVEIRA et alia, 2009)

O gráfico mostra que a partir de 1933 houve uma tendência de redução da média anual pluviométrica. Verifica-se uma distribuição irregular nos anos consecutivos, oscilando entre anos de muita chuva e de outros com pouca chuva, o que ocorreu em 1941, 1942, 1943, 1953, 1955 e 1956, 1959, dentre outros.

Wagner et al. (apud KNIE, 2002) relatam que a estação meteorológica de Joinville foi instalada no ano de 1939 em São Francisco do Sul pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, mas foi desativada em 1983¹⁴. Foram instaladas duas estações meteorológicas em 1995 pela Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE e Escola Técnica Tupy. Em 1997 foram instaladas outras três estações automáticas pela FATMA/GTZ - Fundação do Meio Ambiente/ *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*, medindo diversas variáveis climáticas (temperatura mínima, média e máxima, precipitação pluviométrica, dias de chuva, evaporação, umidade relativa, nebulosidade, insolação, pressão atmosférica, velocidade do vento). A precipitação pluviométrica atinge valores máximos no verão, vide Tabela 1.

Tabela 1 – Registros de precipitação pluviométrica mensal para Joinville – SC.

<i>Precipitação pluviométrica (mm)</i>	
<i>mês</i>	<i>medida</i>
janeiro	250
fevereiro	280
março	240
abril	140
maio	130
junho	100
julho	110
agosto	90
setembro	130
outubro	150
novembro	120
dezembro	160

Fonte: adaptado de Nerilo et al. (2002)

¹⁴ O ano de 1983 coincide a desativação da estação do INMET com as enchentes graves que ocorreram no Estado de Santa Catarina. Verificam-se valores maiores para precipitação, dias de chuva e nebulosidade e valores menores para evaporação, insolação e pressão atmosférica, (Wagner et al. apud KNIE, 2002: 26).

Os dias mais chuvosos ocorrem também durante o verão, vide Tabela 2.

Tabela 2 – Dias chuvosos para Joinville.

<i>Dias chuvosos</i>	
<i>mês</i>	<i>medida</i>
janeiro	18,5
fevereiro	18,5
março	19
abril	15
maio	13
junho	11
julho	12
agosto	12
setembro	15
outubro	17
novembro	16
dezembro	17

Fonte : adaptado de Nerilo et al. (2002)

Silveira et alia (2009) apresentaram uma série de registros fotográficos antigos e o histórico das ocorrências de inundações em Joinville. O registro mais remoto é uma forte tempestade em 1785 para a região de São Francisco do Sul. A duração do evento foi de 3 dias, com granizo, o qual persistiu por 3 dias, que alguns autores classificaram como furacão.

Há muitas lacunas nas séries históricas do município. A ausência de uma rede de estações meteorológicas prejudica a caracterização fidedigna do clima de Joinville e de outros municípios catarinenses.

As chuvas intensas em Santa Catarina foram estudadas por Nerilo et al (2002), que desenvolveu uma série de tabelas e mapas de isoietas.

Tal estudo utilizou o método das relações entre alturas pluviométricas e concluiu acerca da dinâmica de chuvas que uma zona com baixas chuvas médias possui mais chuvas intensas. Apresentam-se a seguir as séries de eventos extremos obtidas para Joinville, vide Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de chuvas intensas para Joinville.

<i>duração</i>	<i>Intensidade de chuva (mm/h)</i>				
	<i>5 anos</i>	<i>10 anos</i>	<i>20 anos</i>	<i>50 anos</i>	<i>100 anos</i>
5 min	166,1	204,5	241,2	293,9	330,2
10 min	131,9	162,4	191,6	233,4	262,2
15 min	114,0	140,3	165,5	201,7	226,6
20 min	98,9	121,8	143,7	175,1	196,7
25 min	88,9	109,4	129,1	157,3	176,8
30 min	81,4	100,2	118,2	144,1	161,9
1 h	55,0	67,7	79,9	97,4	109,4
6 h	15,7	19,3	22,8	27,8	31,2
8 h	12,8	15,7	18,5	22,6	25,4
10 h	10,7	13,2	15,6	19,0	21,4
12 h	9,3	11,4	13,5	16,4	18,4
24 h	5,5	6,7	7,9	9,7	10,9

Fonte: adaptado de Nerilo et al. (2002)

Para Dias et alia (2008) em 2008 houve anomalias de precipitação em setembro, outubro e novembro. Isto representou precipitação pluviométrica em média mensal de 1.000 mm ou 1.000 litros/m², quando a média climatológica mensal é cerca de 150 mm, superando os recordes de 463-7 mm (1983), 446 mm (1967), 446,2 mm (1997) e 831-9 mm (1995). Os registros de chuva para novembro de 2008 foram 335% acima da média mensal : 117,2 mm (10-20/11), 511,1 mm (21-25/11) e 197,0 mm entre (11-15/12). A precipitação pluviométrica intensa gerou inundações e escorregamentos. Já houve recorde maior de chuva diária para Joinville registrado em 26 de setembro de 1995: 384 mm.

4.3 Influência de regime de marés nas inundações

O papel das marés-altas em inundações na bacia do rio Cachoeira foi detectado ainda no século XIX, descrevem Hesse-Wartegg, 1915, e Herkenhoff (1987 apud SILVEIRA et alia, 2009).

A Colônia Dona Francisca, atual Joinville, foi estabelecida em região de mangue, construindo-se em fundo de baía. Os impactos de cheias oriundas de marés-altas passaram a ser uma tônica, além das dificuldades inerentes para construir as fundações, Assunção (1997 apud SILVEIRA et alia, 2009).

Para compreender melhor esse tipo de desastre apresentam-se a seguir conceitos envolvidos no fenômeno marés.

4.3.1 Breve análise da conceituação de marés

Pugh (1987) recomenda considerar aspectos fundamentais no estudo de marés, distinguindo os termos “marés” envolvidos na dinâmica:

- a) no uso popular que significa indiscriminadamente quaisquer mudanças do nível do mar e
- b) no uso específico, significando apenas as variações periódicas cujo padrão seja regular.

De fato, definir marés pode ser um tanto quanto arbitrário. Enfatiza-se a natureza periódica e regular do movimento do mar, identificando a origem da oscilação: se é própria do nível da superfície do mar, gerada pelas correntes, ou pela pressão atmosférica ou por movimentos tectônicos. A citação expressa como Pugh (op. cit.) define marés.

“Marés são movimentos periódicos que estão diretamente relacionados em amplitude e fase com uma mesma força geofísica periódica. A força geofísica dominante é uma função da variação do campo gravitacional na superfície da terra, causada pelos movimentos regulares dos sistemas Lua-Terra e Terra-Sol.” (PUGH, 1987: 12)

Bigarella (2000) analisa as marés como um movimento de subidas e descidas periódicas da superfície do mar, causadas pela atração gravitacional principalmente da Lua e também do Sol. As marés consistem em oscilações de água nas bacias oceânicas, cujas características são dadas pelo tamanho e forma das bacias. Os efeitos de marés são mais vigorosos principalmente em áreas oceânicas rasas e inclusive nas relativamente fechadas.

De acordo com Franco (1997) para conceituar o fenômeno da maré são necessários alguns procedimentos como ponto de partida :

- a) observar a variação do nível do mar em relação a uma régua graduada instalada em um local de águas tranquilas;
- b) associar as observações das posições da Lua no seu movimento diurno em torno da Terra, pois a maré é a variação periódica do nível do mar influenciada por forças astronômicas.

O valor máximo de marés ocorre a cada 12 horas e 25 minutos, correspondendo à metade de um dia lunar, e que os valores mínimos, ocorrem em intervalos de aproximadamente 6 horas e 12 minutos depois de cada preamar. Sendo assim, a maré é denominada semidiurna, os máximos de preamares (PM) e os mínimos de baixa-mares (BM).

Fernandes (1967 apud LIMA, 2002) conceitua a maré como um fenômeno cósmico, evidente em todos os oceanos, caracterizando uma oscilação rítmica do nível das águas, juntamente a correntes variáveis, tanto em grandeza quanto em direção. O fenômeno marés é formado por duas componentes básicas, as quais são indissociáveis: uma vertical e outra horizontal. A maré é, portanto, resultante da força horizontal, que é a força de tração. O tópico marés é bastante vasto e complexo.

Mourão (1982 apud LIMA, 2002) explica que os períodos das diversas oscilações das marés são dadas pela Astronomia através do conhecimento do movimento da Lua e do Sol, enquanto a Hidrodinâmica analisa a forma arbitrária dos continentes e as irregularidades da profundidade dos oceanos.

Este trabalho utilizou a modelagem de marés de Oliveira et al. (2010), que realizou as observações, medidas e cálculos de harmônicas, de preamar e de baixa-mares. A análise de tais dados observados e cálculos mostrou que a distribuição probabilística de Normal apresentava um ajuste adequado em relação à série de marés máximas anuais da régua. A aderência adequada à distribuição Normal também foi usada para determinar as marés máximas astronômicas. Estes níveis de marés unidos ao fator meteorológico permitiram a Oliveira et alia (op. cit.) estabelecer os níveis da água no estuário do rio Cachoeira. Maiores detalhes podem ser consultados diretamente nos relatórios.

4.3.2 Dados maregráficos

O rio Cachoeira é influenciado por marés até a metade do curso, ou seja, 7,5 Km a partir do exutório. As inundações são frequentes, devido às baixas altitudes e declividades (MORALESb, 2004).

Marés-altas são consideradas “normais” por moradores de Joinville e relatórios de Oliveira et al. (2010). Os eventos foram detectados na bacia em diversas datas, vide exemplos na Tabela 4.

Tabela 4 – Maré-alta e conseqüências observadas para Joinville.

<i>Relacionamento entre maré-alta e inundação</i>	
<i>data</i>	<i>medida</i>
17/02/1998	alagamentos no centro em profundidade de 0,8 m
37/03/1998	alagamentos
19/04/1999	alagamentos no centro em profundidade de 0,5 m, considerado, por habitantes, o maior evento de maré-alta dos últimos 17 anos
18/07/2000	inundações no centro em profundidade de 1,00 m
18/09/2001	elevação do nível do rio Cachoeira em 1,80 m
22/11/2008	efeito de maré-alta em inundações causadas por chuvas intensas

Fonte : adaptado de Oliveira et al. (2010)

Schettini e Trucollo (2000) detectaram um regime de maré do tipo misto, cuja predominância é semidiurna, existindo desigualdades na altura para preamares e baixa-mares consecutivas. Na Baía da Babitonga os efeitos de fricção com o fundo e estreitamento de canal principal do complexo estuarino atuam como amplificadores das marés astronômicas na região do baixo estuário, indicando o tipo hipsíncrono ¹⁵.

Para Schettini e Klein (1997 apud SCHETTINI et alia 2002) o estuário apresenta características de micro-marés (< 2m), cuja amplitude média é de 0,8 m e máxima de 0,12 m nas marés de sizígia.

Conforme Oliveira et al. (2010) em estuários as ondas de marés apresentam alta frequência de oscilação, relacionadas a topo-batimetria, vazões, dissipação de energia ligada a limites de fundo e laterais, sofrendo deformação severa. As ondas interagem com limites laterais modificando os níveis de marés e as velocidades de correntes. Quando as margens convergem para direções internas a onda de maré é comprimida sem fricção provocando o aumento do nível da água. Se a fricção for significativa, o nível máximo de maré astronômica é reduzido. A retificação e concretagem de estuários influencia negativamente, pois reduz a fricção e contribui para a elevação crescente de nível e avanço sobre fundos e margens lisas sem obstáculos, piorando as inundações.

¹⁵ Estuário hipsíncrono – geralmente tem forma afunilada e a convergência excede o atrito. Sendo assim, a altura da maré e a as correntes aumentam em direção às cabeceiras. Na zona de maré do rio a convergência é reduzida, o efeito do atrito aumenta e a altura da maré também é reduzida (MIRANDA et alia, 2002: 64).

Schettini e Trucollo (2000) mostraram os efeitos de sobre-elevação do nível estuarino por forças meteorológicas; vento e pressão atmosférica, elevando em até 1 m acima da maré astronômica. As inundações marítimas de grande magnitude estão ligadas a esse fenômeno.

A frequência de marés-altas tem aumentado em Joinville, persistindo por horas ou diversos dias. A amplitude de oscilação da maré na costa brasileira varia de 0 a 12 m, prevalecendo níveis inferiores a 2m. A amplitude máxima de maré para o município de Joinville é de 1,50 m (VELLOZO e ALVES, 2006), vide Fig. 8.

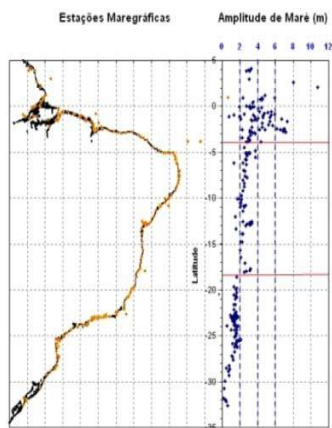


Fig. 8. – Estações maregráficas e amplitude das marés na costa brasileira. Fonte: Oliveira et al. (2010)

Oliveira et al. (op. cit.) analisou o comportamento das marés considerando especificidades, drenagem, capacidade hidráulica e urbanização. O nível máximo da maré anual, “*Year’s Maximal tidal level*” foi utilizado considerando diferentes Períodos de Retorno – T e calculando os acréscimos da maré meteorológica. A maré astronômica na bacia representa uma proporção variável entre 10 a 70 % em média 40% da maré meteorológica. A série histórica de marés astronômicas utilizou a correlação entre o Porto de São Francisco do Sul e trabalhos de campo no estuário, estabelecendo as constituintes das harmônicas para o rio Cachoeira. Estes autores compararam dados coletados em trabalho de campo realizados entre Fevereiro e Abril de 2009 a dados da Marinha do Brasil (2011) para calibrar, validar e evitar erros de cálculos em previsões através do software XTide (FLATTER, 2011).

Os níveis de maré (elevação e baixa) foram obtidos mediante equações específicas e rotinas para o cálculo de harmônicas e planilhas eletrônicas. Maiores detalhes, Maregramas comparativos, gráficos, níveis calculados versus Tábuas de Marés fornecidas pela Marinha do Brasil, cujas previsões referem-se ao Porto de São Francisco do Sul, trabalho de campo e análises detalhadas de harmônicas podem ser encontradas em relatórios (OLIVEIRA et alia, 2010).

4.4 Níveis máximos de maré e a maré meteorológica

O nível máximo de maré *Mean Higher High Water (MHHW)* tem a tendência de ocorrer durante o Verão, ou seja, em Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro ou nas estações chuvosas. A oscilação da maré máxima varia de 2,45 m a 3,044 m, conforme período de retorno de 1 a 1.000 anos, vide Tabela 5.

OLIVEIRA et al. (2010) avaliou a maré meteorológica utilizando dados de 25/04/2001 a 29/06/2005 da praticagem do Porto de São Francisco do Sul fornecidos pelo Engenheiro Marcos Fernando Kielwagen. Conclui-se, acerca do comportamento e relacionamento entre maré meteorológica e maré astronômica e o nível máximo de maré, que durante estações chuvosas o efeito meteorológico aumenta de 20 a 40 %.

Tabela 5 - Relação entre o período de retorno e o nível máximo de maré astronômica, que são gerados pelo ajuste da distribuição probabilística normal

Probabilidade de excedência	Período de retorno (anos)	nível de maré máxima anual (m)	nível de maré máxima anual IBGE (m)
0,001	1000	3,044	2,036
0,002	500	3,017	2,009
0,005	200	2,979	1,971
0,01	100	2,948	1,940
0,02	50	2,914	1,906
0,04	25	2,876	1,898
0,05	20	2,863	1,855
0,1	10	2,817	1,809
0,2	5	2,762	1,754
0,3	3,33	2,722	1,714
0,5	2	2,656	1,648
0,7	1,43	2,590	1,582
0,8	1,25	2,551	1,543
0,9	1,11	2,495	1,487
0,95	1,05	2,450	1,442

Fonte: adaptado de Oliveira et alia (2010)

Observam-se muitas lacunas considerando-se a falta de estudos do comportamento de marés no estuário do rio Cachoeira e a processos a ela relacionados na Defesa Civil de Joinville.

Kreidlow (2011) e outros colaboradores iniciaram uma coleta para adquirir dados detalhados em termos de tempo e níveis de marés para respaldo para planos de drenagem e prevenção de inundações. Esta pesquisa de marés, no entanto, não tem uma data prevista para ser publicada. Estima-se que os resultados dos trabalhos permitirão alimentar outros modelos de inundação e desenvolvimento de mapeamento no futuro.

4.5 Tendências de elevação do nível do mar e estudos do Quaternário na costa do Brasil e no Estado de Santa Catarina

A costa brasileira tem entre 12.000 a 14.000 km de extensão, (XAVIER e AGUIAR, 2011) 1% ou 122.000 km² serão afetados em maior ou menor grau por processos de ENM, o que representa cerca de 8 milhões de pessoas (NOBRE, 2007).

Ser afetado por SLR depende de especificidades locais e da capacidade de adaptar-se. Inundações de marés serão pioradas por subsidência de solos (BAGGIO, 1997; MARFAI, 2003). Os problemas tendem a ser mais graves nas áreas abaixo de 10m de altitude, (MCGRANAHAN et alia, 2007; NOBRE, 2007). Não há consenso quanto a confiabilidade dessa cota topográfica, enquanto parâmetro para nível de proteção, dependendo do local, especialmente em baías montanhosas.

Há controvérsias sobre qual nível de ENM deva ser considerado. Alguns autores consideram a elevação do nível médio do mar em 0,5 a 1,5 m, outros 4 m de altitude em média (ROHLING et alia, 2007). Desconhece-se se o processo de ENM será lento, gradual ou catastrófico num futuro próximo.

As estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), que integram o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, mostram que, entre Dezembro de 2001 e Dezembro de 2006, em medições no Rio de Janeiro (Macaé) o nível do mar elevou-se 15 cm em 5 anos. Em Santa Catarina o nível elevou-se 1 cm em 5 anos (IBGE, 2007).

As pesquisas do Quaternário aplicam o conhecimento de Eras Geológicas recentes a prognóstico de catástrofes naturais, suporte para

uso e ocupação do solo, considerando a evolução histórica e reconstrução de cenários (SUGUIO, 1999).

A datação mais antiga na costa catarinense vem de material arqueológico encontrado nos Sambaquis e datam de 5.000 anos de idade (OLIVEIRA, 2000). As evidências arqueológicas nos paleoestuários e datadas do Holoceno, permitiram a MARTIN et alia (1998) provar que o nível do mar já esteve mais elevado próximo de baías e lagoas.

Houve submersão da costa por volta de 150 anos atrás, seguida de emersão progressiva (SUGUIO et alia, 1982). O nível médio dos mares esteve mais elevado entre 5.000 e 5.400 anos atrás, o que representa uma superfície de 2,5 m a 4,0 m mais alta que a atual.

As pesquisas em ENM podem ser simplificadas, guardadas as limitações e incertezas advindas desse processo. Os indicadores viabilizam a reconstrução de paleoníveis do nível do mar, a partir da datação geológica e de detecção da altitude e do nível do mar (ÂNGULO, 1992; OLIVEIRA, 2000; SUGUIO, 1999).

A curva brasileira do nível do mar construída por (MARTIN et alia, 1998) constando de ordenadas (oscilação altimétrica do nível do mar) e abscissas (oscilação planimétrica da linha de costa) foi revisada por (ÂNGULO e LESSA, 1997) e também estudada por (SUGUIO, 1999; ÂNGULO, 1992) para determinar paleoníveis marinhos. Sítios arqueológicos e sambaquis datados de 3.800 a 4.100 e 2.700 a 3.100 anos antes do presente, provam que o nível do mar já esteve mais elevado, atingindo 2,5 a 3,0 m ou mais (ÂNGULO e LESSA, id.).

A Transgressão Marinha é um processo geológico de avanço dos mares sobre terras emersas e gera uma dinâmica na qual o nível do mar sobe em relação ao solo e se move em direção à orla superior do solo, resultando em inundações (MONROE e WICANDER, 1997).

O processo de elevação do nível do mar perturba o equilíbrio costeiro causando erosão, rebaixamento e retrogradação da linha de costa, movimentos de rotação, translação e de submersão de terras (GORNITZ et alia, 2001), devendo ser considerado para planos e gestão e na preparação para emergências em áreas costeiras.

4.6 Geomorfologia

Gonçalves (1993) destaca que o Complexo Hídrico da Baía da Babitonga é extremamente sensível sob a ótica fisiográfica/ambiental e, inerente a isso, a aspectos geológicos, hidrográficos e climáticos. Esses fatores deveriam caracterizar e condicionar a ocupação e uso do solo no Litoral norte, na região e no município de Joinville.

Há três feições geomorfológicas diferentes:

- a) escarpas da vertente Atlântica e reverso para o plano da Serra do Mar, cuja altitude média é de 900 metros;
- b) planície com cota média de 10 metros, abrangendo colinas e morros isolados na direção Norte-Sul; Morro do Boa Vista, Iririú, Guanabara e Itinga, com declividade entre 8 e 45% e
- c) Complexo Lagunar-Estuarino da Babitonga e manguezais.

O elo principal de ligação entre as três feições geomorfológicas ou unidades de paisagem é o sistema hídrico. A água é fundamental nos processos morfodinâmicos. Ele abrange os rios que nascem na Serra do Mar e atravessam a planície para desaguar no Complexo Lagunar-Estuarino de água salobra, que realiza a transição para a água salgada.

Oliveira (2000) relata o avanço da cunha salina em Joinville; águas subterrâneas salgadas que adentram em direção ao continente. O fenômeno ocorre devido à proximidade de grandes corpos de água salgada, mas pode ser agravado em locais onde há o bombeamento excessivo em poços. A grande permeabilidade e transmissividade, em aquíferos costeiros não-confinados, torna as águas subterrâneas bastante susceptíveis a contaminação por infiltração. A ocupação do solo isenta ou deficiente quanto ao saneamento básico pode minar o lençol freático a 1 m de profundidade com coliformes fecais, dentre outros.

Na bacia hidrográfica do rio Cachoeira quase 65% da área está entre a cota 0 e 20 metros. Há densa rede de drenagem e relevo em sua maior parte de planície. As áreas inundáveis têm grande extensão geográfica, porque há pouca declividade e pequena variação de cotas, vide Figura 9 (OLIVEIRA et al., 2010). A alta taxa de impermeabilização na bacia não favorece a infiltração de água no subsolo. A ocupação é consolidada e há áreas remanescentes não edificadas. Sendo assim, a tendência é de que as inundações e seus impactos irão piorar no futuro.

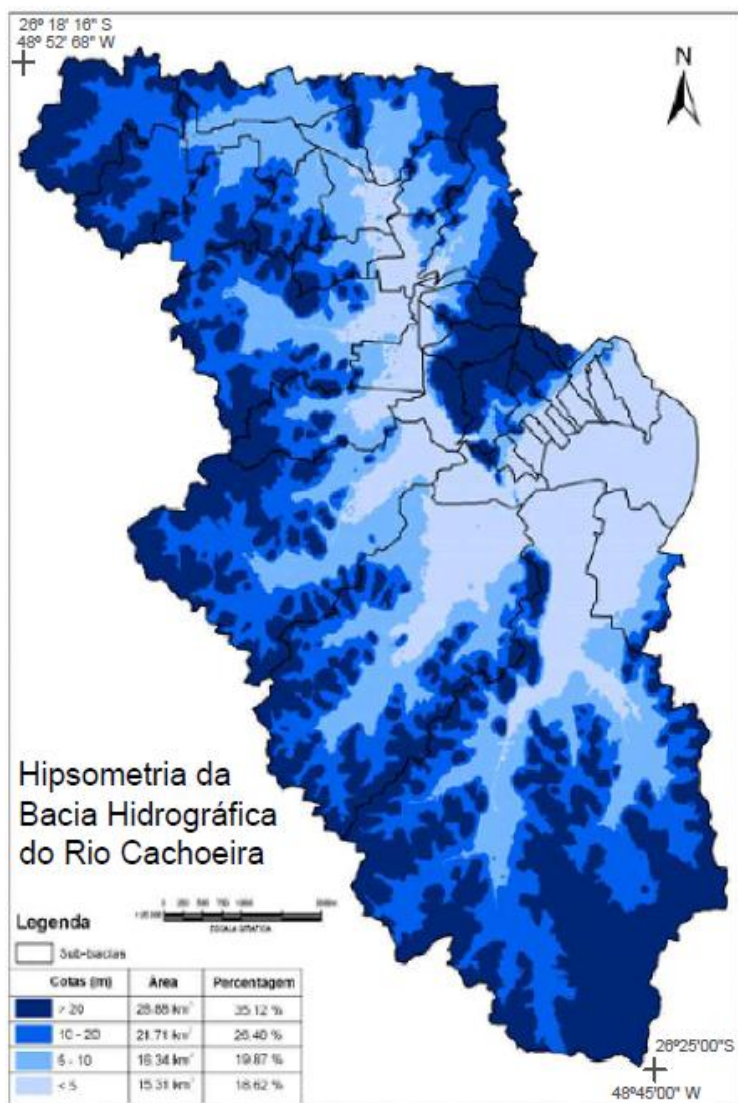


Fig. 9. – Mapa hipsométrico da bacia do Cachoeira. Fonte: adaptado de Oliveira et alia (2010)

4.7 Geologia

Para Gonçalves (op. cit.) na geologia de Joinville predominam gnaiss granulítico, sendo subordinadas as ocorrências de gnaiss bandado, quartzito, formação ferrífera, rocha meta-ultramáfica, anfibolito e localmente diabásio e sedimentos recentes.

Oliveira et al. (2010) caracterizam a bacia do Rio Cachoeira como situada em região em que há três unidades geológicas diferentes. As nascentes da bacia ocorrem em rochas gnáissicas e gnaisses migmatíticos do embasamento cristalino Arqueano no sentido SW-NE. Nesse local predomina o relevo mais acidentado e maior declividade, o que representa 50% de área na bacia. Na planície, que ocorre a leste e na direção do exutório do rio, há depósitos flúvio-marinhos quaternários. Há sedimentos aluvionares, cascalheiras, sedimentos siltosos a argilosos e areias quartzosas marinhas bem selecionadas. Na foz do rio há sedimentos siltosos, argilosos a arenosos típicos de mangue, os quais ocupam áreas marginais ao leito em cerca de 2 km de extensão.

Gonçalves (op. cit.) descreve que o gnaiss granulítico ocorre em áreas extensas, encontrando-se em geral alterado pelas intempéries e originando regolito de cor ocre com salpicado branco extremamente argiloso. A oeste da BR-101 ocorre gnaiss bandado intercalado com o gnaiss granulítico. O Gnaiss bandado ocorre intercalado com quartzito, formação ferrífera, rocha metaultramáfica e anfibolito. Ocorrem afloramentos. A associação litológica é o único critério capaz de diferenciar as áreas de ocorrência. No bairro Jativoca ocorre zona de charneira ou dobras de gnaiss. O quartzito sustenta os Morros do Timbé, Iririú, Boa Vista, Guanabara e Itinga. Alguns locais encontram-se em zonas de cisalhamento. O diabásio ocorre em diques subverticais em três direções E/W, NE/SW, NW, SE, encontrando-se bastante alterado pelas intempéries. Os sedimentos recentes têm três origens distintas: marinha, continental e mista. Aqueles ocorrem na área de influência de maré e possuem um elevado teor de matéria orgânica, enquanto que os de origem mista ocorrem na interface dos sedimentos continentais com influência de maré alta. A composição dos sedimentos de origem continental está ligada a rocha que lhes deu origem.

4.7.1 Pedologia

De acordo com Gonçalves (op. cit.) nas áreas de ocorrência de gnaiss granulítico os sedimentos são compostos de silte argiloso, pouco arenoso, cuja consistência varia de mole à rijá, apresentando as cores marrom, marrom amarelado, branco ou variegado com fragmentos de rocha. A profundidade dos sedimentos continentais oscila entre 5 m a até 30 m de profundidade, dependendo do local. Nas áreas próximas a rios há camadas de areia de 0,5 a 6,0 m de profundidade. Há ainda diversos bolsões de turfa, cuja espessura é variável, entre 0,5 a 4,5 m de profundidade, representando problemas para fundações e obras viárias. A profundidade de solos do tipo silte argiloso varia entre 5 a 30 m. Este tipo de solo é pouco arenoso e tem consistência de mole à rijá. Nas áreas próximas a rios há camada de areia, cuja profundidade varia de 0,5 a 6,0 m. Podem ser encontrados sambaquis, que são depósitos calcíferos de origem humana. Os sedimentos de origem mista ocorrem na interface de sedimentos continentais, sofrendo influência de maré-alta. Os sedimentos sílico-argilosos e as areias finas quartzosas foram produzidos por combinação de processos oriundos da dinâmica fluvial e litorânea e constituem o componente geológico fundamental. A unidade constitui uma superfície plana, inclinada suavemente para Leste e descontínuas em alguns trechos. A origem dessa deposição ocorreu por influências continentais e marinhas. Nas áreas de influência continental predomina a modelagem plana ou convexa resultado de convergência de leques coluviais de espreamento, cones de dejeção ou concentração em depósitos de enxurradas nas porções terminais de rampas de sedimentos. O mapeamento em escala grande sobre a ocorrência de tipos de solos potencializa um subsídio à decisão no planejamento e infraestrutura urbana e na construção civil. Na maior parte do município de Joinville predomina a falta de informação acerca de solos, gerando dificuldades para construir obras de engenharia e edificações.

Há terraços arenosos com altitudes decrescentes em direção ao oceano. As altitudes dos terraços variam entre 12 e 6 m e 4,6 e 1,8 m. Os terraços são formados por feixes de cordões litorâneos paralelos à direção de praia atual SW-NE, (ÂNGULO, 1992). Os feixes de cordões litorâneos são elevações que raramente ultrapassam 10 m de altura e são construídos por processos eólicos associados aos marinhos. A importância dos cordões litorâneos é de controlar a disposição das bacias de drenagem, o curso dos rios e as direções de fluxo no lençol freático nas planícies costeiras. As cotas do nível do lençol freático são

superficiais e podem ficar abaixo do nível do mar se houver bombeamento excessivo em poços tubulares próximos.

A bacia do rio Cachoeira tem solos mais impermeáveis, gerando escoamentos maiores que a média e capacidade de infiltração menor que a média de solos mais permeáveis (OLIVEIRA et alia, op. cit.).

4.8 Plano Diretor e Zoneamento do Uso do solo

O Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville versa sobre diretrizes estratégicas, tendo sido desenvolvido com uma abordagem abrangente e considerando a Constituição Federal; Constituição do Estado de Santa Catarina; Lei Orgânica do Município; Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade e Lei Complementar nº 27, de 27 de março de 1996 – Uso e Ocupação do Solo de Joinville e no Planejamento Estratégico de Joinville. O regime urbanístico do uso, ocupação e parcelamento do solo e limites do perímetro urbano foram alterados pela Lei Complementar nº 27/96. Outras modificações quanto ao zoneamento do uso do solo foram lançadas pela Lei nº 261/08, conforme Oliveira et al. (2010).

Esta análise na Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira incorporou o agrupamento das categorias de uso do solo em quatro “tipos”:

- a) Especial – correspondendo aos Setores Especiais (SE), incluindo todas suas subdivisões;
- b) Comercial – correspondendo à Zona Central (ZC) e às Zonas Corredor Diversificado (ZCD), incluindo suas subdivisões;
- c) Industrial – correspondendo à Zona Industrial (ZI);
- d) Residencial - correspondendo às zonas residenciais (ZR) incluindo todas suas subdivisões;

4.9 Características sócio-econômicas e problemas ambientais

Para Oliveira et al. (2010) o município de Joinville está situado a nordeste do Estado de Santa Catarina nas proximidades da divisa com o Estado do Paraná. Destaca-se por ser o maior município catarinense em termos populacionais e também pelas atividades econômicas. A economia baseia-se no setor secundário e terciário; constituídos pelo

setor industrial e de prestação de serviços. As indústrias desenvolvem atividades metal-mecânica, têxtil, plásticos, tecnologia da informação e produtos farmacêuticos.

A colonização de Joinville se iniciou com os imigrantes europeus; alemães, noruegueses, suíços, italianos, e outros, que a partir de 1851 aportaram na colônia Dona Francisca. Há registros da presença prévia de diversos grupos indígenas na região: os *Kaingangs*, os *Guaranis* e os *Tupis*. O desenvolvimento do município, inclusive em termos de morfologia urbana, está diretamente ligado à indústria de metalurgia e têxtil e o comércio. A cidade estruturou-se nos vales. Os meios de transporte; seja a navegação, ferrovia e rodovias favoreceram o crescimento econômico. De fato, Joinville ocupa uma posição estratégica pela posição geográfica, acessibilidade e armazenagem: ao porto de São Francisco, porto de Itajaí (SC), porto de Paranaguá (PR) e BR-101. Conta com aeroporto com rotas para São Paulo de onde se podem realizar conexões. A taxa de crescimento econômico é elevada. Isto representa um Produto Interno Bruto (PIB) municipal de R\$ 11,47 bilhões, o maior do Estado de Santa Catarina, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Inerente a esses fatos, Joinville atrai população em busca de emprego. O crescimento populacional entre 1970-2006, por exemplo, foi de 3,9% a.a. A população atual é de 515.250 habitantes. Detecta-se um rápido crescimento durante o século XX. A alta taxa de urbanização do município gera implicações de expansão de áreas impermeabilizadas e problemas graves de ordem infraestrutural no sistema de drenagem da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira. O status dos manguezais da Baía da Babitonga é crítico devido a perturbações humanas, (TREIN, 2002) falta de saneamento básico e contaminação por resíduos tóxicos e metais pesados, (GONÇALVES, 1993; KNIE, 2004; MORALES, 2004b).

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Identificação de áreas afetadas por maré-alta

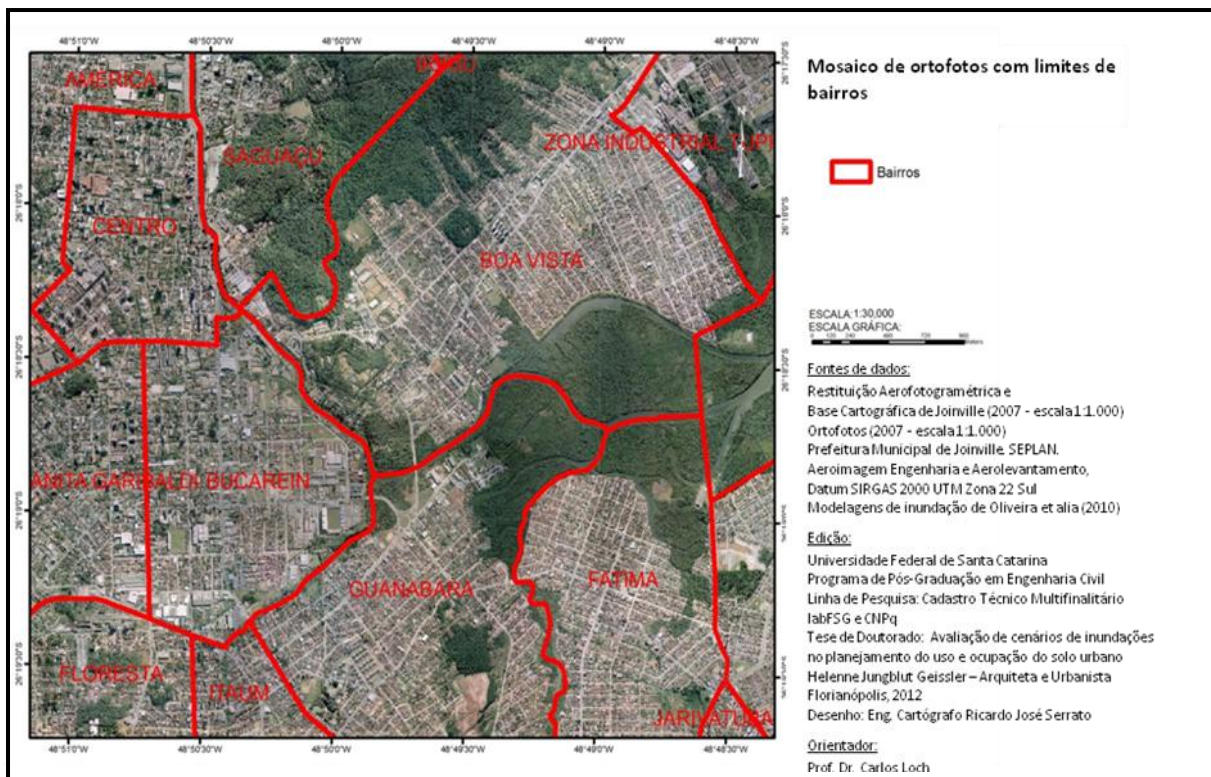
Dentre os cinco cenários de maré-alta relevantes, 1,6 m, 1,7 m, 1,8 m, 2,00 m e 2,50 m, identificados por Oliveira et alia (2010) selecionaram-se dois tipos de eventos; 1,6 m e 2,5 m para análises mais detalhadas utilizando geoprocessamento. Os níveis de maré-alta, 1,6m, 1,7m, 1,8m, 2,0m e 2,5m, mostram uma gradação crescente na área afetada por maré-alta, vide Tabela 6.

Tabela 6 – Relação entre marés-altas e áreas inundadas

<i>Área inundada (km²)</i>				
<i>Maré-alta (m)</i>	<i>Período de retorno astronômico (anos)</i>	<i>Manguezal (km²)</i>	<i>Urbanizado (km²)</i>	<i>Total (km²)</i>
1,60	1,54	3,25	0,58	2,40
1,70	2,94	3,25	0,88	4,13
1,80	8,85	3,25	1,84	5,10
2,00	400	3,25	2,43	5,68
2,50	∞	3,25	4,66	7,08

Fonte: Adaptado de Oliveira et alia (2010)

A seguir apresentam-se os mapas temáticos desenvolvidos em SIG através de análises espaciais. A Figura 10 representa os limites de bairros e a Figura 11 associa este tema à hidrografia. Os resultados de medição das áreas inundadas, identificação de tipos de uso do solo, habitantes afetados e litotipos afetados estão descritos, assim como interpretados em aspectos observados nessa análise.





5.1.1 Áreas inundadas por maré-alta nível 1,6 m

A elevação de maré no nível 1,6 m, que é muito freqüente em Joinville, inunda 2,40 km² da bacia do Cachoeira, vide Figura 12. Esse cenário demonstra a grande vulnerabilidade da bacia à maré-alta.

Observa-se que maré-alta em 1,6 m atinge com maior intensidade as áreas com cota topográfica baixa e baixa declividade, imediatamente próximas à Lagoa de Saguçu (exutório da bacia) e ao curso do rio Cachoeira e afluentes. A inundação de maré expande-se severamente na sub-bacia do rio Boa Vista e também nos afluentes da margem direita e na sub-bacia do rio Velho, ao longo do leito do rio Itaum e ao longo do leito do rio Bucarein na margem esquerda.

A maré-alta no nível 1,6m afeta 11 bairros, vide Figura 10. A Tabela 7 mostra os 6 bairros mais afetados, Fátima, Adhemar Garcia, Guanabara, Boa Vista, Bucarein, Tupy Industrial. A Zona Industrial Tupy e o bairro Boa Vista são os mais afetados na margem esquerda e os bairros Adhemar Garcia, Guanabara e Fátima são os mais afetados na margem direita do rio.

Tabela 7 - Descrição dos bairros afetados pela maré-alta no nível 1,6m

bairro	área total (km²)	�rea inundada (km²)	�rea inundada (%)
Fatima	2,22	0,4757	40,97
Adhemar Garcia	1,96	0,0252	12,86
Guanabara	2,55	0,6466	25,36
Centro	1,31	0,0359	2,74
João Costa	3,41	0,0001	0,003
Sagu�u	4,89	0,0472	0,97
Santo Antonio	2,20	0,0015	0,07
Boa Vista	5,36	0,6905	12,88
America	4,54	0,0242	0,53
Anita Garibaldi	3,04	0,0004	0,01
Bucarein	2,04	0,1602	7,85
Tupy Industrial	1,47	0,2090	14,22
Petropolis	3,04	0,0017	0,06
Jarivatuba	2,09	0,0014	0,007
Itaum	3,16	0,0402	1,27
	43,28	2,4038	

Os 47 tipos de usos do solo previstos no Zoneamento resumem-se a 4 tipos básicos, zona residencial, zona especial, zona comercial e industrial.

Exceto as áreas naturalmente inundáveis, 1,3490 km² ou 56.12 %, o meio construído é afetado, ocorrendo submersão de zonas residenciais (ZC), especiais (ZE) em 0,6232 km² e 0,5037 km², o que representa 25,93% e 20,95%, respectivamente, vide Fig. 13 e Tabela 8.

O maior problema está nas zonas residenciais e especiais, em que também há usos habitacionais. É totalmente desaconselhável o uso de áreas de grande vulnerabilidade à inundação para fins de moradia.

Tabela 8 - Descrição dos tipos de uso do solo afetados pela maré-alta no nível 1,6 m

Uso do solo	Área inundada na bacia (km ²)	Área inundada (%)
Residencial	0,6232	25,93
Especial	0,5037	20,95
Comercial	0,1229	5,11
Industrial	0,0560	2,33
Rios, manguezais, pântanos salinos e restingas	1,3490	56,12
	2,4038	100 %

Estima-se que quantidade de habitantes a qual possa ser atingida por maré-alta 1,6 m é de cerca de 12.715 de pessoas, vide Tabela 9. Estes afetados nas áreas inundadas podem vir a sofrer algum tipo de impacto, seja maior ou menor, com a submersão. Adotou-se a população da bacia do Cachoeira de 288.577 hab. (IPPUJ, 2008).

O uso de solo do tipo especial refere-se a equipamentos públicos, habitação de interesse social, patrimônio histórico, militar, educacional, proteção ambiental, conservação, controle de inundações, dentre outros.

Tabela 9 – Descrição de bairros e habitantes afetados por maré-alta no nível 1,6m

bairro	População	Habitantes possivelmente afetados	habitantes (%)
Fatima	14417	5907	40,97
Adhemar Garcia	10411	1339	12,86
Guanabara	9513	2412	25,36
Centro	5133	14	2,74
João Costa	10945	0	0,003
Saguaçu	10900	106	0,97
Santo Antonio	5543	4	0,07
Boa Vista	17630	2271	12,88
America	10810	57	0,53
Anita Garibaldi	7952	1	0,01
Bucarein	5583	438	7,85
Tupy Industrial	57	0	14,22
Petropolis	13764	8	0,06
Jarivatuba	16864	1	0,007
Itaum	12368	157	1,27
	151.890	12.715	

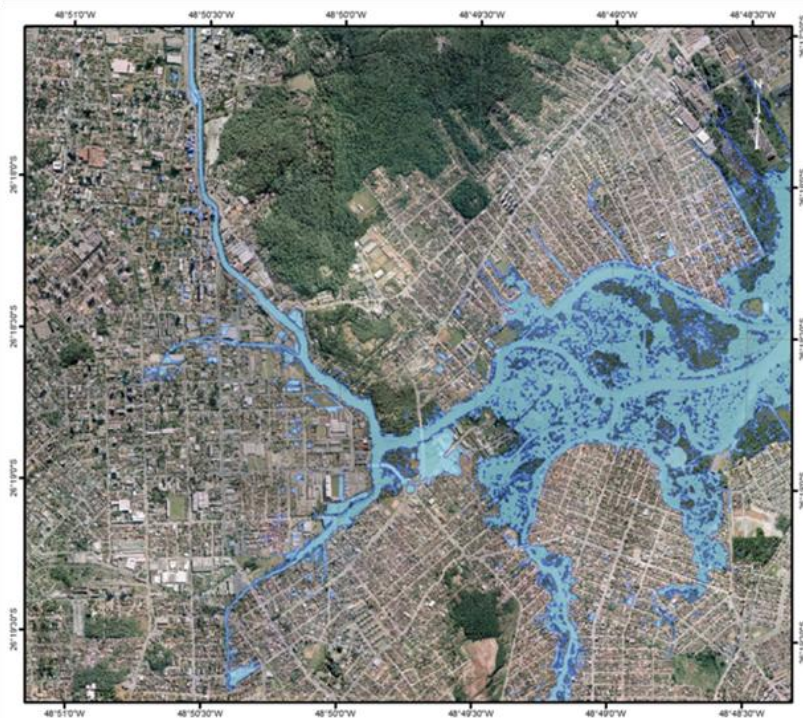
O nível 1,6 m é, atualmente, o limite altimétrico de manguezais e pântanos salinos, (OLIVEIRA et al., 2010) revelando que os bairros mais afetados são ocupações que ocorreram sobre aqueles ecossistemas e que são protegidos para conservação mediante legislação.

O adensamento populacional nos bairros desprezando a dinâmica natural das inundações de marés-altas tende a aumentar a quantidade de moradores afetados.

A geologia afetada é composta de areias e cascalhos (Q2a) em 2,75 km² e Gnaiss, Granulito e Gnaiss granulítico (A4scg) em menos de 0,2 km², vide Tabela 10 e Fig. 14.

Tabela 10 - Relação entre geologia e maré-alta no nível 1,6m

sigla	geologia	área inundada (km²)
A4scg	Gnaiss, Granulitos Gnaisses granulíticos	0,1783
Q2a	Areia e Cascalho	2,7507



Mosaico de ortofotos com inundação por maré-alta no nível 1,6m

Mare 1,60m

ESCALA 1:30.000
ESCALA GRÁFICA:

Fontes de dados:

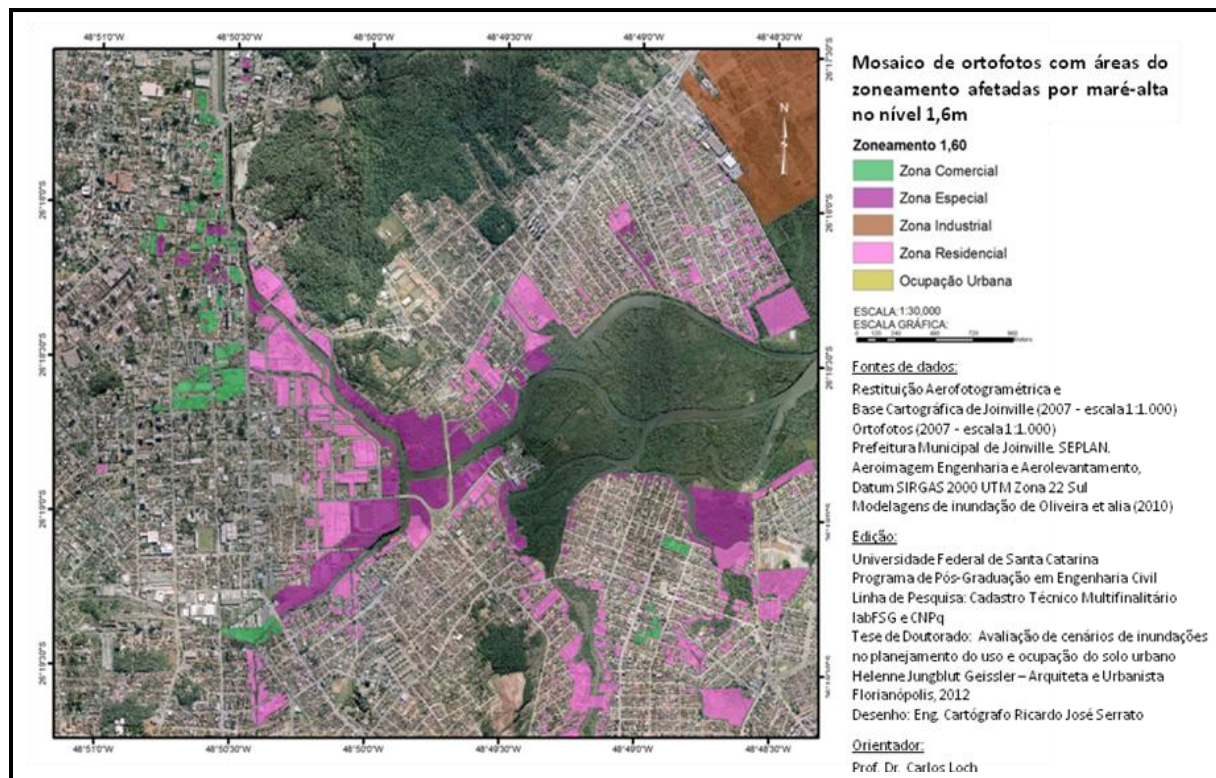
Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

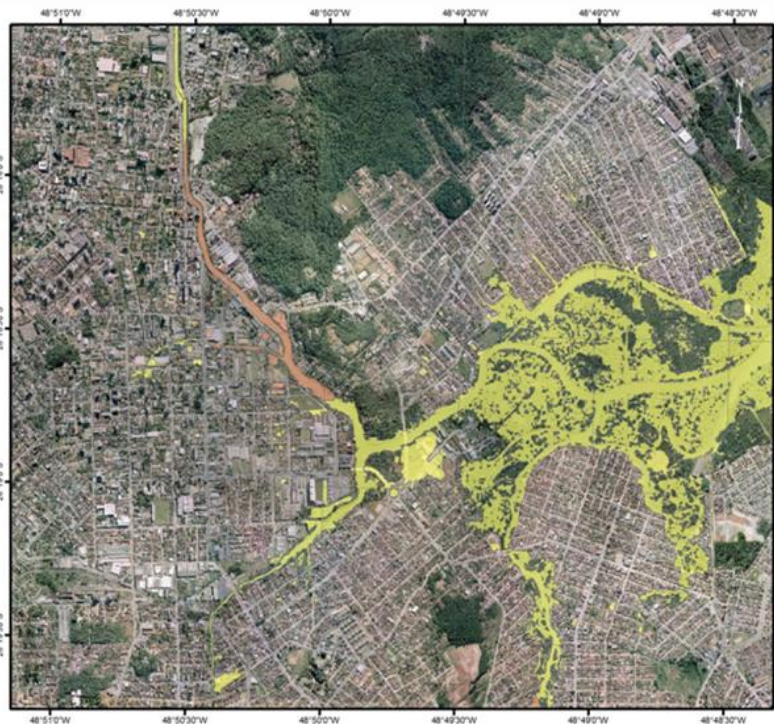
Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch





Mosaico de ortofotos com litotipos afetados por maré-alta no nível 1,6m

Geologia 1:60
 Amarelo: Areia, Cascalho
 Laranja: Gnaiss, Granulito, Gnaiss Granulítico

ESCALA 1:30.000
 ESCALA GRÁFICA:
 0 100 200 300 metros

Fontes de dados:

Restituição Aerofotogramétrica e
 Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
 Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
 Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
 Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
 Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
 Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
 Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
 IabFSG e CNPq
 Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
 no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
 Helene Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
 Florianópolis, 2012
 Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch

5.1.2 Áreas inundadas por maré-alta nível 2,5 m

A elevação de maré no nível 2,5 m atinge 11 bairros numa área mensurada em 7,08 km², vide Fig. 15 e Tabela 11 e 12. A maré-alta de 2,5 m aumenta a gravidade do desastre, pois amplia a cota de profundidade da inundação para 0,90 m a 1 m. No nível 2,5 a maré afeta áreas à jusante e expande-se nas sub-bacias tanto na margem esquerda, quanto direita, afetando inclusive áreas a montante da Bacia Hidrográfica do Cachoeira.

A inundação amplia-se na Zona Industrial Tupy e no bairro Boa Vista, que são os mais afetados na margem esquerda, e amplia-se também nos bairros Adhemar Garcia, Guanabara e Fátima, que são os mais afetados na margem direita do rio Cachoeira. Além destes, o Centro também passa a ser mais afetado pela maré-alta mais elevada.

Tabela 11 - Descrição de bairros afetados por maré-alta no nível 2,5m

bairro	área total (km²)	área inundada (km²)	área inundada (%)
Fatima	2,22	1,5191	68,43
Adhemar Garcia	1,96	0,1788	9,12
Guanabara	2,55	1,5152	59,42
Centro	1,31	0,3696	28,21
João Costa	3,41	0,0001	0,003
Saguaçu	4,89	0,0932	1,91
Santo Antonio	2,20	0,0039	0,18
Bom Retiro	3,91	0,0005	0,13
Boa Vista	5,36	2,0991	39,16
America	4,54	0,0423	0,93
Anita Garibaldi	3,04	0,0059	0,19
Bucarein	2,04	0,8146	39,93
Tupy Industrial	1,47	0,3673	24,99
Petropolis	3,04	0,0075	0,25
Jarivatuba	2,09	0,0030	0,14
Itaum	3,16	0,1733	5,48
	43,28	7,0828	

A área residencial (ZC) submersa por maré-alta 2,5m é de 3,5120 km² ou 49,58%, especial (ZE) e 1,3182 km² ou 18,61%, sendo que ambas possuem usos habitacionais. Comercial 0,7478 km² ou 10,56% e 1,03490 km² ou 56,12 %, que são naturalmente inundáveis, vide Fig. 16.

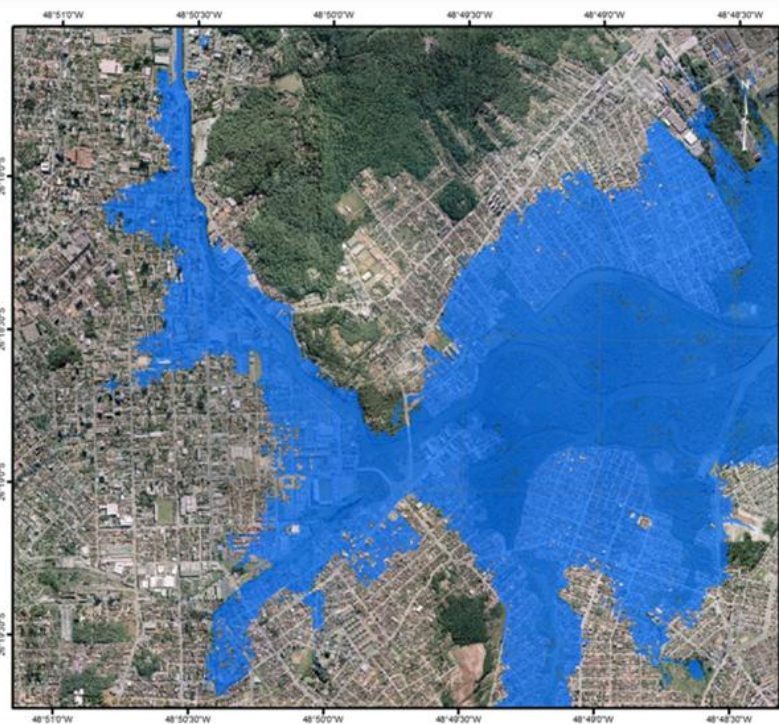
Tabela 12 - Descrição de tipos de usos do solo afetados por maré-alta no nível 2,5m

Uso do solo	área inundada (km ²)	área inundada (%)
Residencial	3,5120	49,58
Especial	1,3182	18,61
Comercial	0,7478	10,56
Industrial	0,1558	2,20
Rios, manguezais, pântanos salinos e restingas	1,3490	19,05
	7,0828	100 %

A Tabela 13 mostra as inundações de maré-alta no nível 2,5 m nos diversos bairros. Percebe-se, novamente, que os bairros situados em posições mais baixas e vulneráveis a inundações de marés-altas são coincidentemente os populosos na bacia do Cachoeira, pois possuem usos residenciais. Estima-se que 28.133 habitantes sejam afetados.

Tabela 13 - Relação de população de bairros afetados por maré-alta no nível 2,5m

bairro	População	Habitantes possivelmente afetados	hab (%)
Fatima	14417	9866	68,43
Adhemar Garcia	10411	949	9,12
Guanabara	9513	5653	59,42
Centro	5133	1448	28,21
João Costa	10945	0	0,003
Saguaçu	10900	208	1,91
Santo Antonio	5543	10	0,18
Bom Retiro	3.91	0	0,13
Boa Vista	17630	6904	39,16
America	10810	101	0,93
Anita Garibaldi	7952	15	0,19
Bucarein	5583	2229	39,93
Tupy Industrial	57	14	24,99
Petropolis	13764	34	0,25
Jarivatuba	16864	24	0,14
Itaum	12368	678	5,48
	151.890	28.133	



Mosaico de ortofotos com inundação por maré-alta no nível 2,5m

 Mare 2,50m

ESCALA 1:30.000

ESCALA GRÁFICA:

0 100 200 300 metros

Fontes de dados:

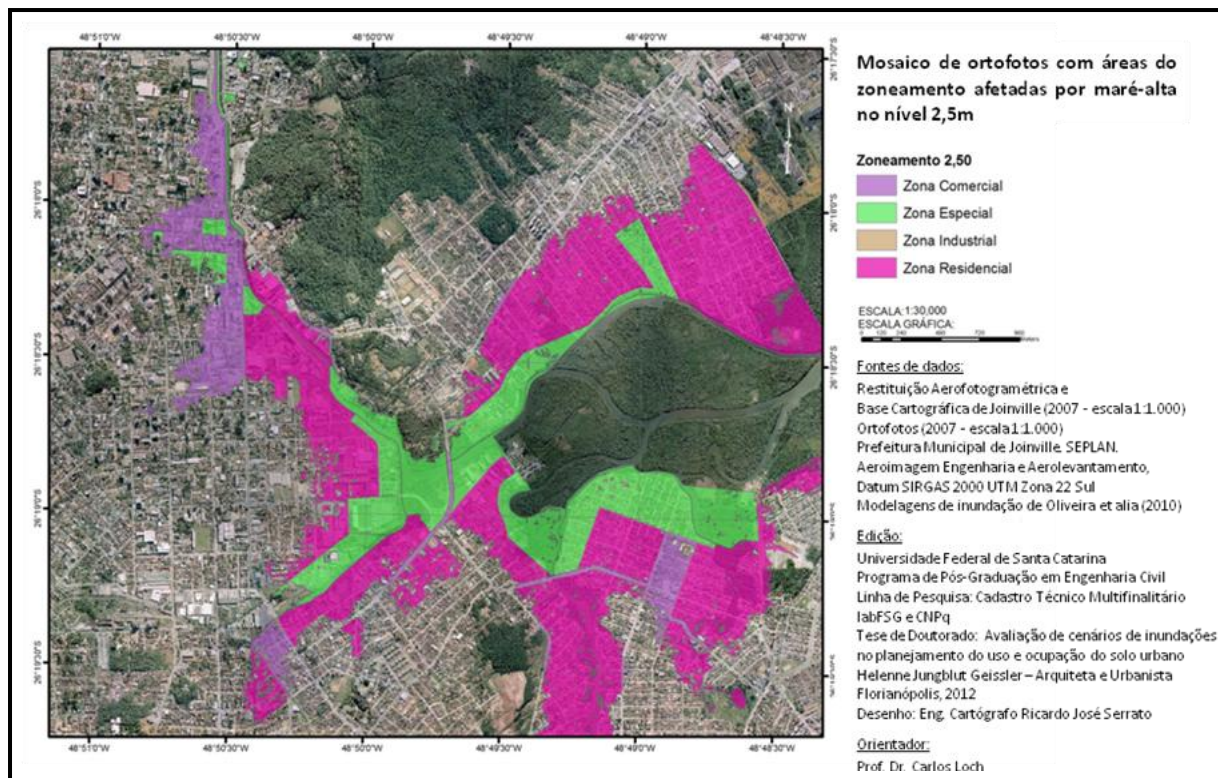
Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch



A inundação de maré-alta para o nível 2,5 m expande-se em áreas com mais dificuldade em drenar, situadas em fundo de baía, em manguezais e ao longo de rios e áreas urbanizadas.

A maior área afetada é composta de areias e cascalhos (Q2a), superando 7 km², e rochas Gnaisse, Granulito e Gnaisse granulítico (A4scg), cerca de 1 km², vide Fig. 17 e Tabela 14.

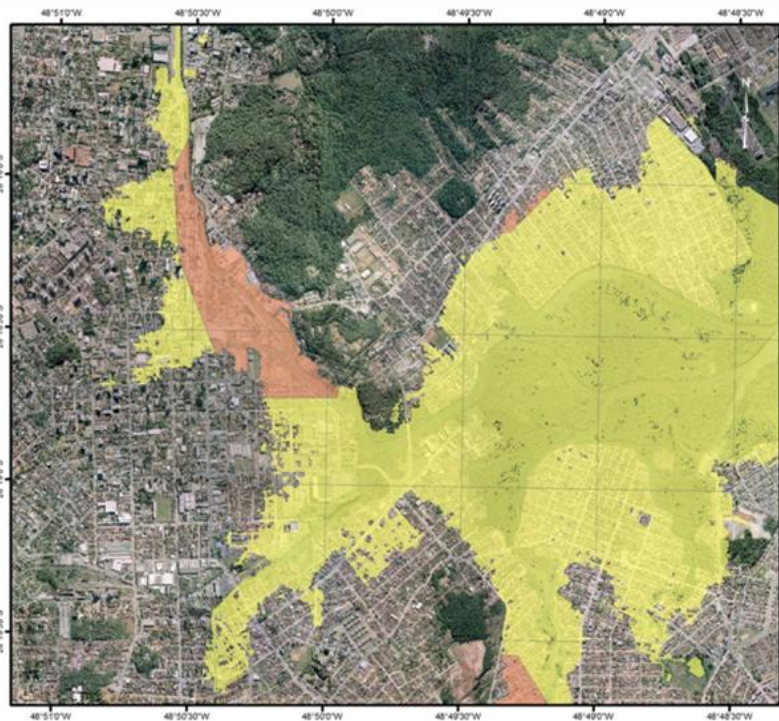
Tabela 14 - Descrição de litotipos afetados por maré-alta nível 2,5m

sigla	litotipo	área inundada (km²)
A4scg	Gnaisse, Granulíticos Gnaisses granulíticos	0,8150
Q2a	Areia e Cascalho	7,0016

5.1.3 Comparação de cenários

Comparando o cenário de inundação de maré-alta no nível 2,5 m com o nível 1,6 m, percebe-se que um afeta 7,0828 km² e outro 2,4038 km², vide Fig. 18. Isso representa uma expansão de 33,94% na área inundada para um acréscimo de 0,9 m na elevação de maré.

A superposição dos cenários 1,6 m e 2,5 m permite identificar o padrão de expansão da inundação na bacia hidrográfica; a forma de espraiamento na planimetria e o desenvolvimento de profundidades de cota de inundação por comparação com a topografia.



Mosaico de ortofotos com litotipos afetados por maré-alta no nível 2,5m

Geologia 2,50

- Amarelo: Areia, Cassialho
- Laranja: Gnaiss, Granulito, Gnaiss Granulítico

ESCALA 1:30.000

ESCALA GRÁFICA:
0 100 200 metros

Fontes de dados:

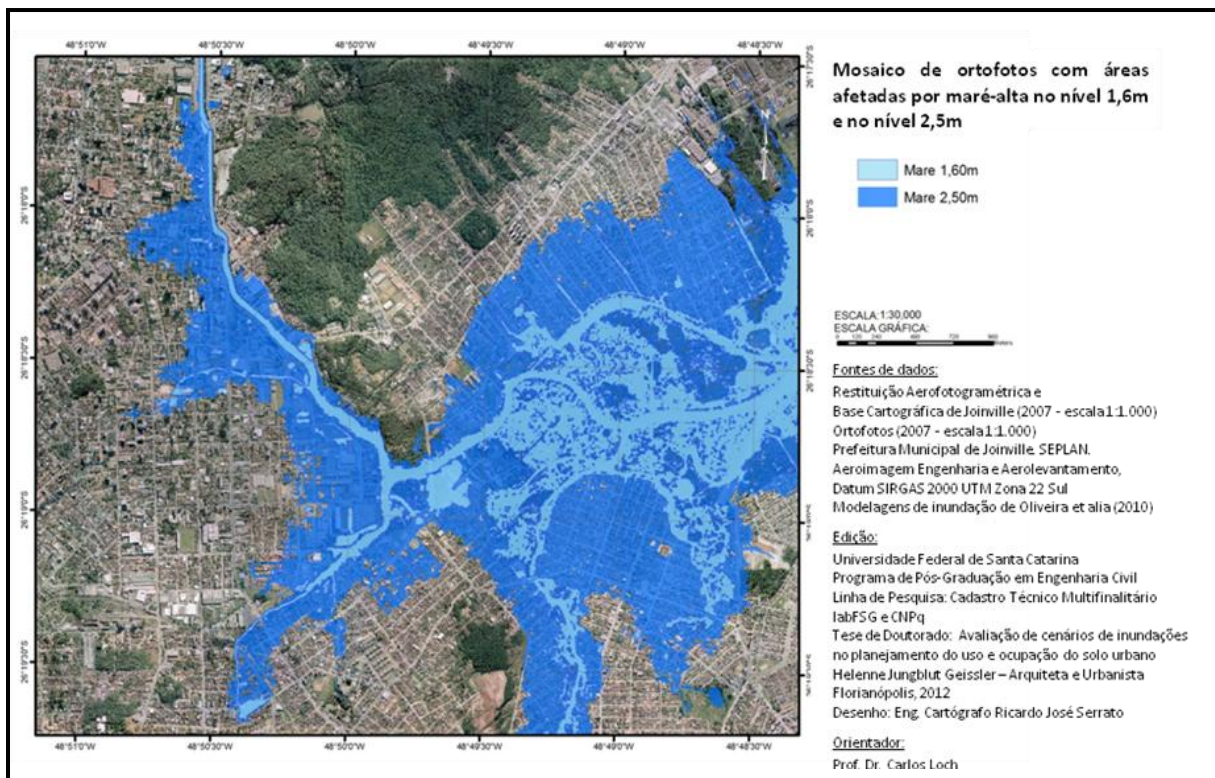
Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch



5.1.4 Lotes afetados por maré-alta nível 1,6 m

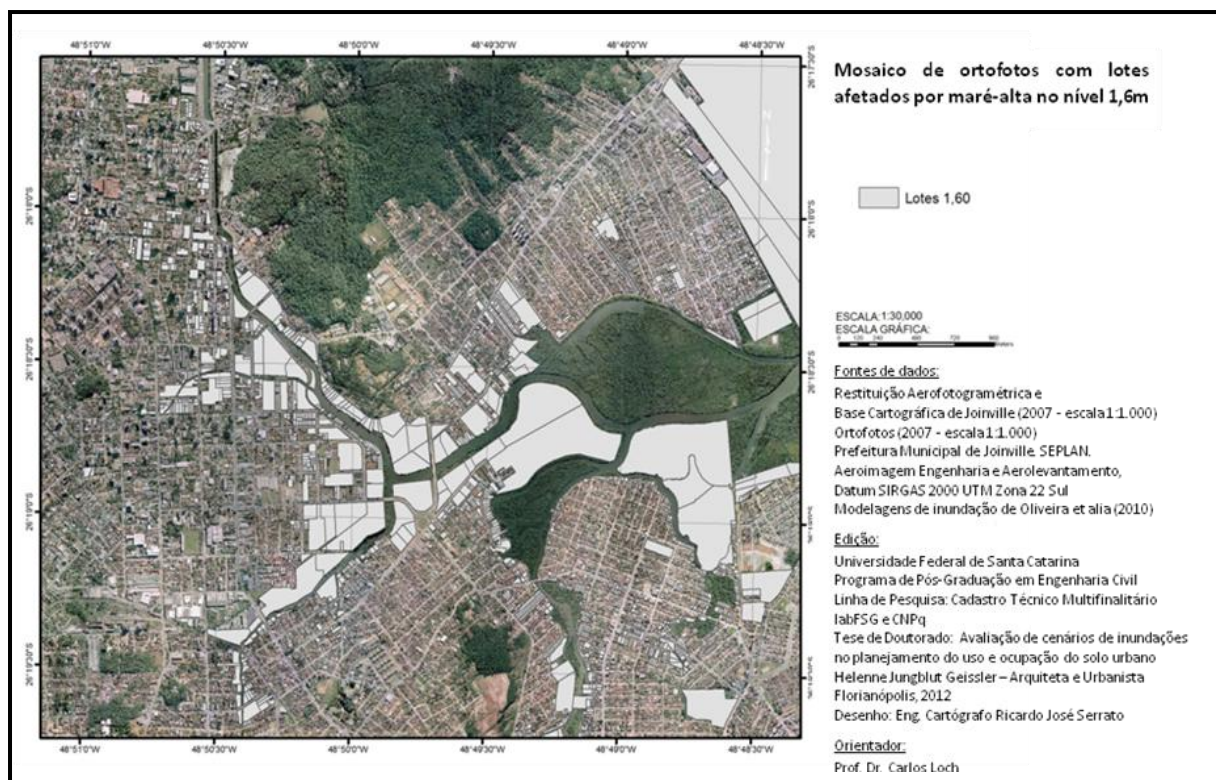
Há 1.882 lotes afetados por maré-alta no nível 1,6 m na bacia do Cachoeira, vide Fig. 19.

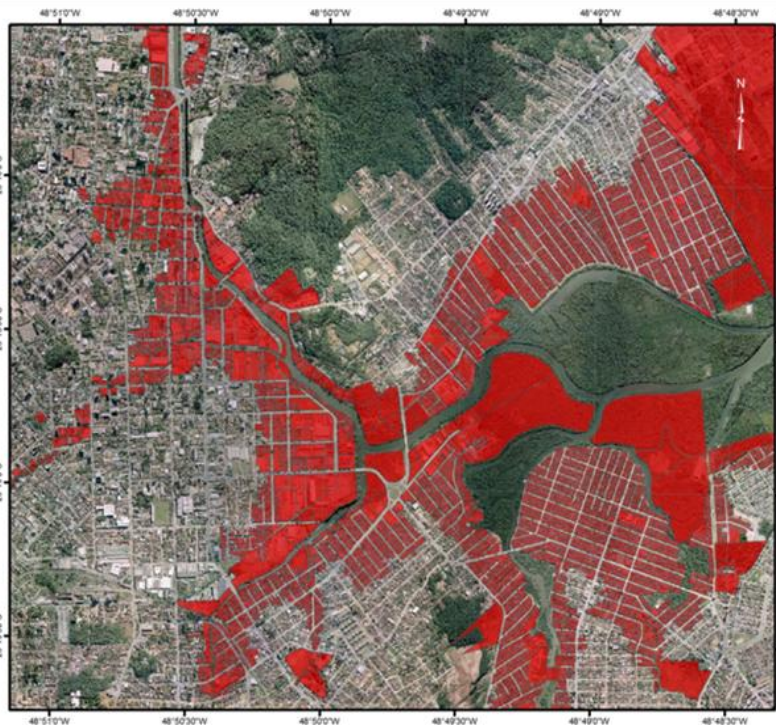
Os lotes afetados no nível 1,6m (limite altimétrico) são aqueles que representam as zonas de amortecimento de cheias e que estão dentro dos limites planimétricos de ecossistemas freqüentemente inundáveis. Estes lotes situam-se ao longo de rios (Bucarein, Itaum-Açu, Cachoeira) e contíguos à Lagoa de Saguazu e Baía da Babitonga. Os mesmos eram matas ciliares e manguezais no passado. A maré-alta afeta também inúmeras ruas e avenidas. A altimetria máxima na área é de 1,6 m.

5.1.5 Lotes afetados por maré-alta nível 2,5 m

Há 7.485 lotes afetados por maré-alta no nível 2,5m na bacia do Cachoeira, vide Fig. 20.

A maré-alta no nível 2,5m espraia-se por uma área extensa, tendo por vetores os rios (Bucarein, Itaum-Açu, Cachoeira, Bupeva, Jaguarão, Mathias, Morro Alto), a Lagoa de Saguazu e Baía da Babitonga. Ruas, avenidas, estradas e demais lotes situados abaixo da cota topográfica no nível 2,5 m são submersos. Utilizaram-se os códigos das parcelas da Prefeitura Municipal de Joinville para referência cadastral nas análises.





Mosaico de ortofotos com lotes afetados por maré-alta no nível 2,5m

 Lotes 2,50

ESCALA: 1:30.000

ESCALA GRÁFICA:

0 250 500 750 1000 metros

Fontes de dados:

Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helene Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch

5.1.6 Comparação entre lotes afetados por maré-alta no nível 1,6 m e 2,5 m

Há um aumento de 34% nos lotes afetados, que passa de 1.882 lotes em maré-alta no nível 1,6 m para 7.485 lotes urbanos em maré-alta no nível 2,5 m, vide Fig. 21.

A superposição de modelos a temas em SIG permite detectar e informar a posição de elementos afetados. O refinamento topográfico é indispensável para profundidade da inundação e a posição de zonas inundáveis, sendo muito útil para a Defesa Civil. O centro urbano, cinco escolas (e muito próximas outras duas), uma unidade de saúde e um terminal de ônibus são submersos em caso de maré-alta. Há tendência de subida da cota de cheia e expansão planimétrica da inundação gerada por maré-alta, devido à crescente impermeabilização do solo na bacia.

A grande quantidade de edificações com tipologia de um único pavimento na zona de perigo, onde a profundidade da inundação atinge ou supera 1m, agrava o problema, pela existência de planície e depressões topográficas. Inúmeras dificuldades impõem-se para fuga dos habitantes das áreas com cotas topográficas muito baixas, pois haverá correntezas, desafiando até mesmo as brigadas de resgate da Defesa Civil e Corpo de Bombeiros de Joinville.

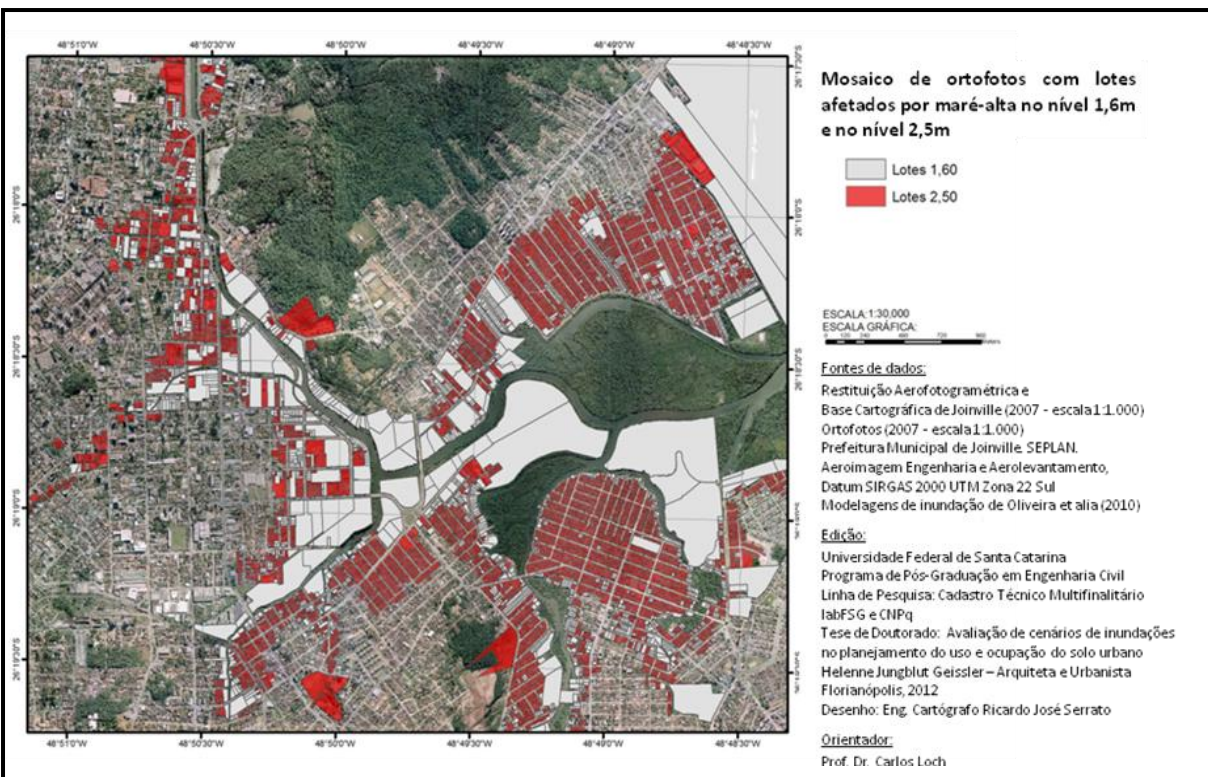
A cidade de Veneza, na Itália, vivencia inundações freqüentes, mas tem o suporte do Sistema de Previsão e Alerta de Marés (VENEZIA, 2011), o qual fornece os boletins de marés, dados maregráficos e previsão de ondas no Mar Adriático. O sistema avisa os habitantes acerca de nível de maré máximo e atua no suporte de resgate e evacuação. As autoridades italianas fornecem previsões de maré-alta, preparando os habitantes para emergências com 3 horas de antecipação. Níveis de *Acqua alta* acima de 1,10 m inunda 12% da área central, onde se encontra o centro histórico. Alertas são emitidos por 18 sirenes instaladas na cidade. Os alarmes são gerados quando ocorrem marés excepcionais. As áreas a serem inundadas e os habitantes a serem afetados já estão mapeados. Se a maré-alta exceder 1,40 m, 90% da área urbana é inundada. Mais recentemente, a maré-alta de 1,60 m tem sido detectada, o que agrava as inundações.

Joinville não dispõe de um Sistema de Previsão e Alerta de Marés-altas. A Defesa Civil de Joinville distribui cartilhas “Tábuas de Marés”.

Entretanto as informações são as Tábuas fornecidas pela Marinha do Brasil, calculadas para as marés astronômicas e para o Porto de São Francisco do Sul próximo ao Oceano Atlântico.

A maré astronômica, de fato, é um dos componentes da maré, mas não é, no entanto, o nível máximo de maré. As marés meteorológicas, as tempestades severas e, tampouco o nível máximo de marés, são calculados pela Defesa Civil de Joinville, em razão de lacunas no que se refere a monitoramento e modelagem. A instituição aconselha que os habitantes sigam uma regra empírica quanto ao nível da maré astronômica, 1,6 m (observar), 1,8 m (atenção) e utilizar 1,9 m como aviso (alarme). A instituição reconhece que esse tipo de informação não é adequado para a preparação de emergências, nem é precisa para efeitos de proteção da integridade física e da vida humana, sendo que a elevação da maré pode ser, de fato, muito maior do que 1 m acima da maré astronômica.

Avisos antecipados acerca de nível de maré máximo, ou *Mean Higher High Water (MHHW)*, para Joinville, todavia, não existem. Por consequência, nem o poder público, tampouco os cidadãos, ao menos no momento atual, dispõem de instrumentos para apoiar sua decisão.



Comparando os lotes inundados no cenário de maré alta nível 1,6m com o cenário de maré alta nível 2,5m, vide Figura 18, nota-se um aumento na área atingida de 4,6242 km² ou 34% na mancha de inundação e de um acréscimo de 5.603 lotes afetados, o que representa um aumento de 75% para a bacia do Cachoeira.

A expansão da inundação ocorre em planícies nos bairros Boa Vista, Fatima, Guanabara, Itaum, Bucarein e Centro. Examinando a Figura 18 e interpretando os limites, padrões da inundação por marés-altas, e outros fatores observáveis, nota-se que a inundação cresce e ascende, seguindo um padrão inerente ao percurso natural da hidrografia depressões topográficas e as superfícies de planícies de inundação.

Os limites de expansão de áreas afetadas por maré-altas estão ligados a diversos fatores do meio físico e antrópicos. Os fatores ligados à topografia, como a altimetria, parecem estar diretamente ligados no desenvolvimento da profundidade de inundação. Ao mesmo tempo, à geologia pela capacidade de drenagem. A interferência humana, a exemplo de tipo de ocupação do solo e padrões de impermeabilização do solo, piora a capacidade de drenagem natural e de absorção de zonas de amortecimento de inundações.

As áreas baixas, muito próximas a rios, lagoas drenando para o mar e baías, são aquelas com menor altitude, portanto, cotas topográficas mais baixas e altamente vulneráveis, onde o risco de inundações é considerado muito alto.

Oliveira et al. (2010) concordam que a profundidade de inundação e as velocidades das correntezas (m/s) têm uma influência muito forte na capacidade humana de escapar de ameaças à integridade física e à vida. O marco 0,5 m identifica os limites altimétricos da zona de perigo, vide Figura 22. A partir do nível 0,5 m adultos não treinados; crianças, idosos e adultos sedentários sofrem uma grande restrição à mobilidade. A submersão de obstáculos e o efeito psicológico do estresse agravam os problemas. Recomenda-se adotar 0,3 m de nível de inundação para efeitos de mapeamento de inundação, devido a incertezas na modelagem para a proteção de habitantes. Há uma área remanescente de 25,45 km² de lotes na bacia do Cachoeira. Por consequência, o número de afetados por maré-alta tende a aumentar.

Recomenda-se banir o uso residencial abaixo e para a cota topográfica 1,7m e em Zona de Passagem de Enchente, regulamentando-se a Zona com Restrições e recomendando tipologias adequadas de edificações para Zonas de Baixo Risco de Inundações.

Obviamente, o conhecimento de Zonas susceptíveis a deslizamentos também deve ser considerado. Instituições de ensino, saúde, equipamentos, serviços importantes devem ser movidos para terras mais elevadas. Deve-se promover o aumento da percepção do risco, treinamento e simulações de desastres.

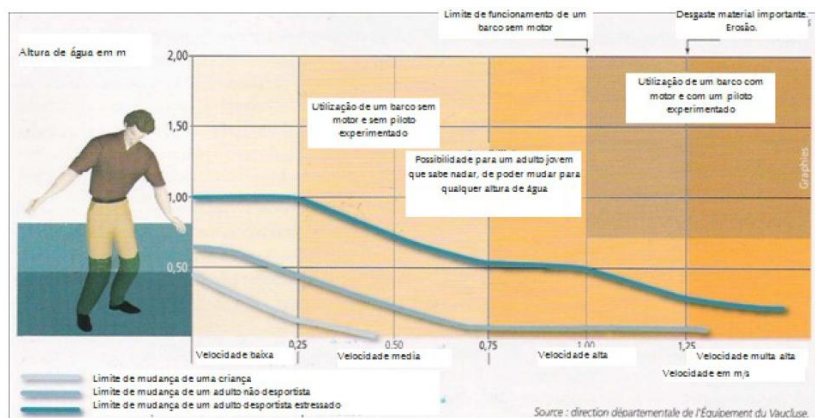


Fig. 22. – Relação entre profundidade de inundação, velocidades de correntes e probabilidade de criança, adulto sedentário e atleta sob estresse escapar. Fonte: *Direction départementale de l'Équipement Du Vaucluse* (apud OLIVEIRA et al., 2010)

O conhecimento da posição geográfica dos lotes afetados por marés-altas possibilita embasar a decisão de planejadores e gestores da Defesa Civil e a percepção de risco dos habitantes que se encontram na zona de perigo. Essa informação permite *a posteriori* gerar pesquisa e desenvolvimento em estudos de vulnerabilidade de maré-alta.

5.2 Considerações sobre a influência de precipitações pluviométricas nas inundações

5.2.1 Diagnóstico das inundações em Joinville

Oliveira et al.(2010) e Morales (2004a,b) concordam que a bacia do Cachoeira abrange uma planície ampla, densa rede de drenagem e quase 65% da área situada entre a cota 0 e 20 metros. As áreas inundáveis têm grande extensão geográfica, porque há pouca variação de cotas topográficas. A geração de cheias na bacia, cuja posição é central em Joinville, é influenciada por altas taxas de impermeabilização nas sub-bacias (HEEMANN e HACKENBERG, 2003; GEISSLER e LOCH, 2010), dificultando a infiltração de água no subsolo.

Os desastres de precipitação pluviométrica (BENETTI e RAMOS, 2005) ocorrem em geral na primavera e verão, quando há chuvas convectivas. Oliveira et al. (2010) concordam que a situação geográfica, características da bacia, proximidade do mar e baixas declividades pioram o problema. A ocupação é densa e consolidada. Há poucas áreas permeáveis e predominam os usos residenciais, comerciais e industriais.

As inundações em Joinville tem sido documentadas desde 1851, quando os primeiros imigrantes europeus alemães, noruegueses, suíços e outros trazidos pela *Hamburger Kolonisationsverein für Südbrasilien* aportaram em Joinville (SILVEIRA et alia, 2009; SILVEIRA, 2008).

A morfologia urbana, que persiste nos dias atuais, foi baseada na cultura; na companhia colonizadora, que era alemã e dos imigrantes. O modelo teuto ocorreu nas margens de rios, baía e planícies de inundação (GEISSLER, 2010). A população em Joinville e a edificação cresceram muito durante o século XX (SANTANA, 1998). Essa tendência continua no século XXI isenta quanto à preservação de áreas para amortecer cheias e dos escoamentos hídricos naturais.

O aumento de impermeabilização do solo (HEEMANN e HACKENBERG, 2003) e (GEISSLER e LOCH, 2010) somado à configuração topográfica da bacia; extensas áreas com baixas declividades, exutório em baía influenciado por regime de marés causa efeito de represamento de escoamentos pluviais, aumenta a ineficiência operacional dos condutos e galerias e a frequência de inundações. Os

sistemas de drenagem de Joinville e da bacia do Cachoeira estão comprometidos por múltiplos fatores. Na sub-bacia do rio Mathias há grandes edificações construídas sobre o leito. Conflitos legais, planos e gestão incoerentes agravam os problemas de inundações que, na bacia do Cachoeira, são de difícil solução (OLIVEIRA et al., 2010).

5.2.2 Considerações quanto à falta de dados e limitações oriundas do material base

Para Benetti e Ramos (2005) Joinville apresenta problemas graves de falta de dados e informações. Inexistem monitoramento pluviométrico ou hidrométrico contínuo na bacia do Cachoeira, que contribuiria para avaliações de cheias e das condições de escoamento na foz.

A Prefeitura pretende suprir tais lacunas em curto prazo implantando rede de medição para caracterizar as precipitações pluviométricas e entender o desenvolvimento de cheias na bacia. Há a necessidade de estudos de vulnerabilidade para toda a bacia complementando e refinando as ocorrências de inundações. O mapa de risco de inundação da bacia do Cachoeira é um produto que ainda não existe e que deve ser elaborado no futuro através do cruzamento das ocorrências com a vulnerabilidade. O conhecimento da vulnerabilidade é de suma importância para identificar populações vulneráveis e detectar o grau de periculosidade a que estão expostos. Há limitações nos modelos utilizados nesta tese quando comparados com o evento de 22 de novembro de 2009, registrado pela Defesa Civil de Joinville, vide Figura 23. Não houve calibração e validação da modelagem com eventos reais, há discrepâncias entre níveis de cheia simulados reais e observados, desconsideraram-se ainda obstruções ao escoamento, gerando problemas inerentes ao processo (OLIVEIRA et al., 2010).

A inundação real pode, de fato, ser muito maior que a ilustrada. Inexistem modelos para períodos de retorno maior; $T=100$ anos ou superiores, muito recomendados na literatura, tampouco modelo contemplando o pior cenário, que é caracterizado por precipitação pluviométrica simultânea à elevação de marés-altas, as quais provocam efeito de represamento da drenagem fluvial.

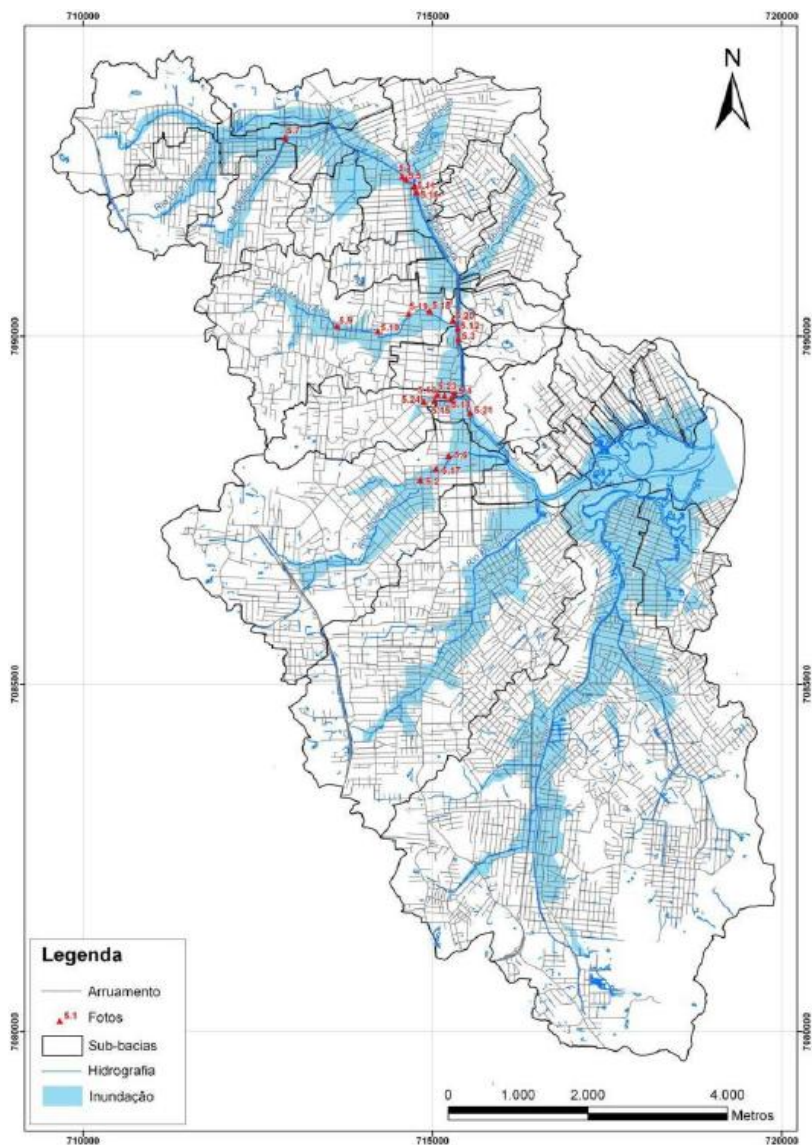


Fig. 23. – Mapa de inundação do evento de 22 de novembro de 2009.
 Fonte: Defesa Civil de Joinville (apud OLIVEIRA et al., 2010).

5.3 Identificação de áreas afetadas por inundação causada por precipitação pluviométrica

5.3.1 Inundação causada por precipitação pluviométrica T=5 anos

O depoimento do engenheiro Afonso Moruzzi Marques, em audiência pública sobre o Programa Municipal de Drenagem e Plano Diretor de Drenagem Urbana-PDDU da Bacia do Rio Cachoeira, resume:

"Hoje a situação é crítica, o sistema atual de drenagem da bacia não atende a período de chuva de T=5 anos, agravado pelo problema da ocupação irregular." (JUSBRASIL, 2011).

Oliveira et al. (2010) concordam que os piores problemas em Joinville são produzidos pela intensidade das precipitações pluviométricas, ao invés dos volumes precipitados, diferindo dos desastres que ocorrem no Vale do Itajaí. As especificidades da bacia hidrográfica do rio Cachoeira; tempo curto de concentração e do tipo de precipitação pluviométrica na região incidem sobre a rapidez com que a cheia se desenvolve, a velocidade que se propaga e rápida elevação do nível das águas, reduzindo o tempo para reação e dificultando a implantação um Sistema de Previsão e Alerta. A cheia que se desenvolve na área provoca o transbordamento do leito principal muito rapidamente em função da intensidade das chuvas; gerando inundação, afetando bairros centrais de Joinville. O crescimento alheio a planos coerentes de uso e ocupação do solo em Joinville interfere negativamente no sistema de drenagem. As inundações são agravadas na bacia do Cachoeira por uma série de fatores: as obstruções ao escoamento tornam as cheias mais frequentes, na prática de privilegiar a microdrenagem, em detrimento da macrodrenagem e promover a retificação, canalização e concretagem extensa de leitos de rios e outros.

A inundação T=5 anos, muito frequente em Joinville, inunda 7,16 km² da bacia do Cachoeira afetando 27 bairros, vide Fig. 24 e Tabela 15. Os rios que inundam com T=5 anos a partir da foz na margem esquerda; rio Itaum-Mirim, rio Itaum-Açu, rio Bucarein, rio Jaguarão, rio Mathias, rio morro Alto, rio Cachoeira e, na margem direita, rio Mirandinha. Estima-se que 41.485 habitantes sejam afetados, vide Tabela 16.

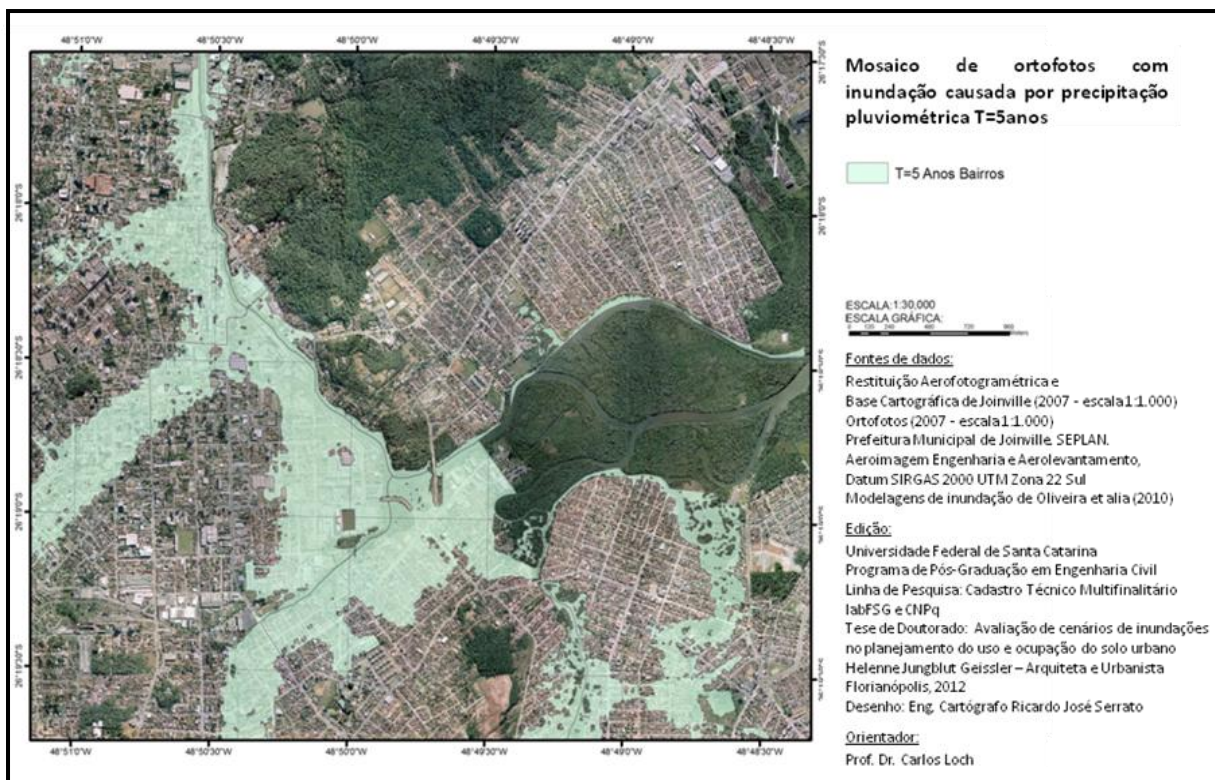


Tabela 15 - Bairros afetados por inundação T=5anos

bairro	área total (km²)	área inundada (km²)	área inundada (%)
Zona Industrial Norte	30,24	0,0039	0,013
São Marcos	4,97	0,0001	0,002
Adhemar Garcia	1,96	0,0124	0,633
Fátima	2,22	0,7529	33,91
Guanabara	2,55	1,0175	39,90
Tupy Industrial	1,47	0,0039	0,265
Centro	1,31	0,4933	37,66
Boa Vista	5,36	0,1744	3,25
Glória	5,48	0,0396	0,72
Jarivatuba	2,09	0,2190	10,48
Boehmerwald	3,16	0,2614	8,27
Floresta	5,01	0,5952	11,88
Itinga	7,90	0,1961	2,48
Costa e Silva	6,60	0,5980	9,06
Santo Antônio	2,20	0,3126	14,21
João Costa	3,41	0,6397	18,76
Petrópolis	3,04	0,2424	7,97
Itaum	3,16	0,6994	22,13
Bucarein	2,04	0,9479	46,47
Anita Garibaldi	3,04	0,5078	16,70
Atiradores	2,73	0,0356	1,30
América	4,54	0,4941	10,88
Saguaçu	4,89	0,4383	8,96
Iririú	6,26	0,0102	0,16
Bom Retiro	3,89	0,3920	10,08
Vila Nova	12,92	0,0561	0,43
Parque Guarani	4,46	0,1088	2,44
		7,16	

Tabela 16 - Habitantes afetados por inundação T=5anos

bairro	População total	Habitantes possivelmente afetados	habitantes (%)
Zona Industrial Norte	2334	0	0,013
São Marcos	2592	0	0,002
Adhemar Garcia	10411	66	0,633
Fátima	14417	4888	33,91
Guanabara	9513	3796	39,90
Tupy Industrial	57	0	0,265
Centro	5133	1933	37,66
Boa Vista	17630	573	3,25
Glória	8432	61	0,72
Jarivatuba	16864	1767	10,48
Boehmerwald	8632	714	8,27
Floresta	18121	2153	11,88
Itinga	6835	170	2,48
Costa e Silva	25321	2294	9,06
Santo Antônio	5543	788	14,21
João Costa	10945	2053	18,76
Petrópolis	13764	1097	7,97
Itaum	12368	2737	22,13
Bucarein	5583	2594	46,47
Anita Garibaldi	7952	1328	16,70
Atiradores	5049	66	1,30
América	10810	1176	10,88
Saguaçu	10900	9766	8,96
Iririú	23883	38	0,16
Bom Retiro	10810	1090	10,08
Vila Nova	19824	85	0,43
Parque Guarani	10317	252	2,44
	294.040	41.485	

5.3.2 Inundação causada por precipitação pluviométrica T=10 anos

A inundação T=10 anos atinge 29 bairros e inunda 10,73 km², vide Fig. 25 e Tabela 17. Estima-se que 45.910 habitantes sejam afetados, vide Tabela 18. Isso representa um acréscimo de 3,57 km² ou 66,73 % do cenário T=10 anos em relação ao cenário de inundação T=5 anos.

Percebe-se que a inundação aumenta gradualmente para T=10 anos nos rios da bacia. Analisando os rios a partir da foz é visível que os rios extravasam os leitos. O rio Itaum-Mirim, rio Itaum-Açu, rio Bucarein, rio Jaguarão, rio Mathias, rio Morro Alto, rio Cachoeira e na margem direita rio Mirandinha atingem os bairros em áreas bastante relevantes.

Tabela 17 - Bairros afetados por inundação T=10anos

bairro	área total (km ²)	área inundada (km ²)	área inundada (%)
Zona Industrial Norte	30,24	0,4749	1,57
São Marcos	4,97	0,0024	0,48
Nova Brasília	9,33	0,0002	0,002
Adhemar Garcia	1,96	0,0202	1,03
Fátima	2,22	0,8793	39,60
Guanabara	2,55	1,1495	45,08
Tupy Industrial	1,47	0,0038	0,26
Centro	1,31	0,6131	46,80
Boa Vista	5,36	0,1868	3,49
Glória	5,48	0,0391	0,71
Jarivatuba	2,09	0,2382	11,40
Boehmerwald	3,16	0,5589	17,69
Floresta	5,01	0,7254	14,48
Itinga	7,90	0,2639	3,34
Costa e Silva	6,60	1,2242	18,55
Santo Antônio	2,20	0,9067	41,22
João Costa	3,41	0,7037	20,64
Petrópolis	3,04	0,5733	18,86
Itaum	3,16	0,8220	26,01
Bucarein	2,04	1,0330	50,64
Anita Garibaldi	3,04	0,8240	27,11
Atiradores	2,73	0,1201	4,40
America	4,54	0,9306	20,50
Saguaçu	4,89	0,9257	18,93
Iririu	6,26	0,0612	0,98
Bom Retiro	3,89	0,4414	11,35
Vila Nova	12,92	0,0677	0,52
Parque Guarani	4,46	0,1650	3,70
		10,73	

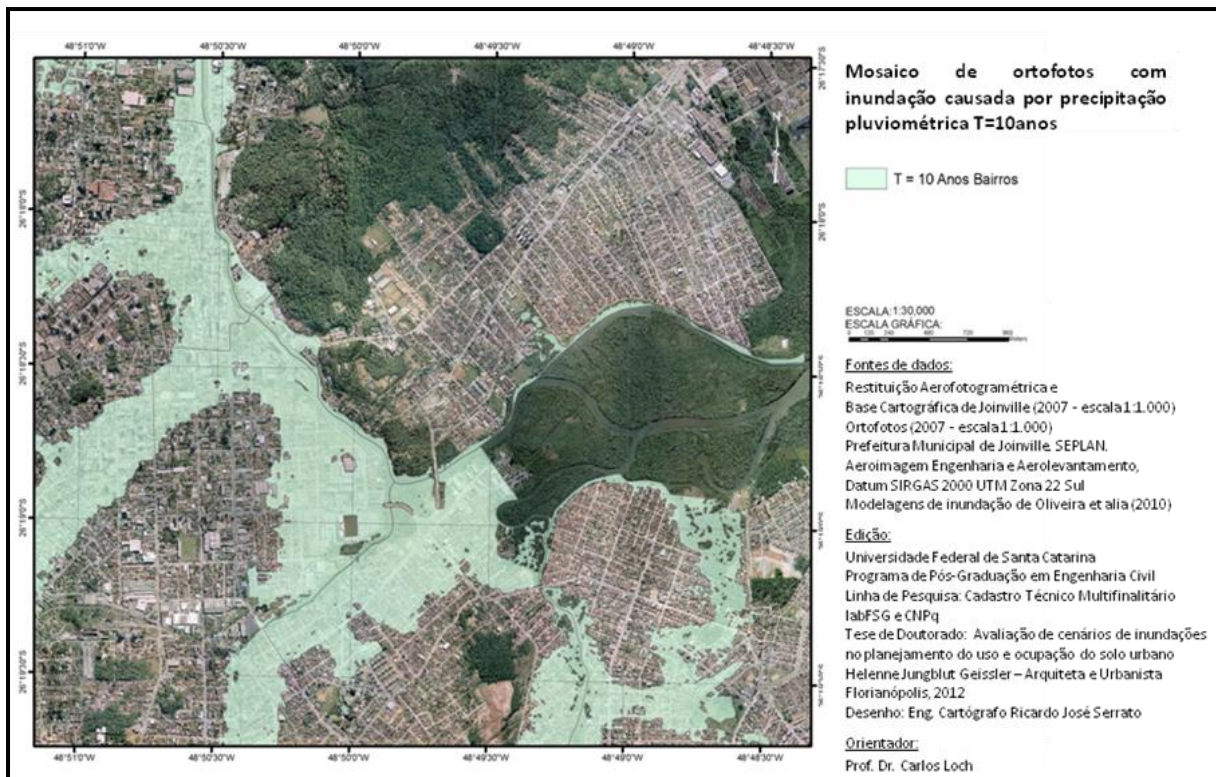


Tabela 18 - Habitantes afetados por inundação T=10anos

bairro	População total	Habitantes possivelmente afetados	habitantes (%)
Zona Industrial Norte	2334	37	1,57
São Marcos	2592	13	0,48
Nova Brasília	12010	0	0,002
Adhemar Garcia	10411	107	1,03
Fátima	14417	5709	39,60
Guanabara	9513	4288	45,08
Tupy Industrial	57	0	0,26
Centro	5133	2396	46,80
Boa Vista	17630	615	3,49
Glória	8432	60	0,71
Jarivatuba	16864	1922	11,40
<i>Boehmerwald</i>	8632	1527	17,69
Floresta	18121	2624	14,48
Itinga	6835	228	3,34
Costa e Silva	25321	4697	18,55
Santo Antônio	5543	2285	41,22
João Costa	10945	2259	20,64
Petrópolis	13764	2596	18,86
Itaum	12368	3217	26,01
Bucarein	5583	2827	50,64
Anita Garibaldi	7952	2156	27,11
Atiradores	5049	222	4,40
América	10810	2216	20,50
Saguaçu	10900	2063	18,93
Ipiriú	23883	234	0,98
Bom Retiro	10810	1227	11,35
Vila Nova	19824	103	0,52
Parque Guarani	10317	382	3,70
	294.040	45.910	

5.3.3 Inundação causada por precipitação pluviométrica T=25 anos

A inundação T=25 anos atinge 29 bairros e inunda 14,06 km². Estima-se que 51.500 habitantes sejam afetados, vide Fig 26 e Tabelas 19 e 20. Isso representa um acréscimo de 3,33 km² ou 76,32 % do cenário T=25 anos em relação ao cenário de inundação T=10 anos.

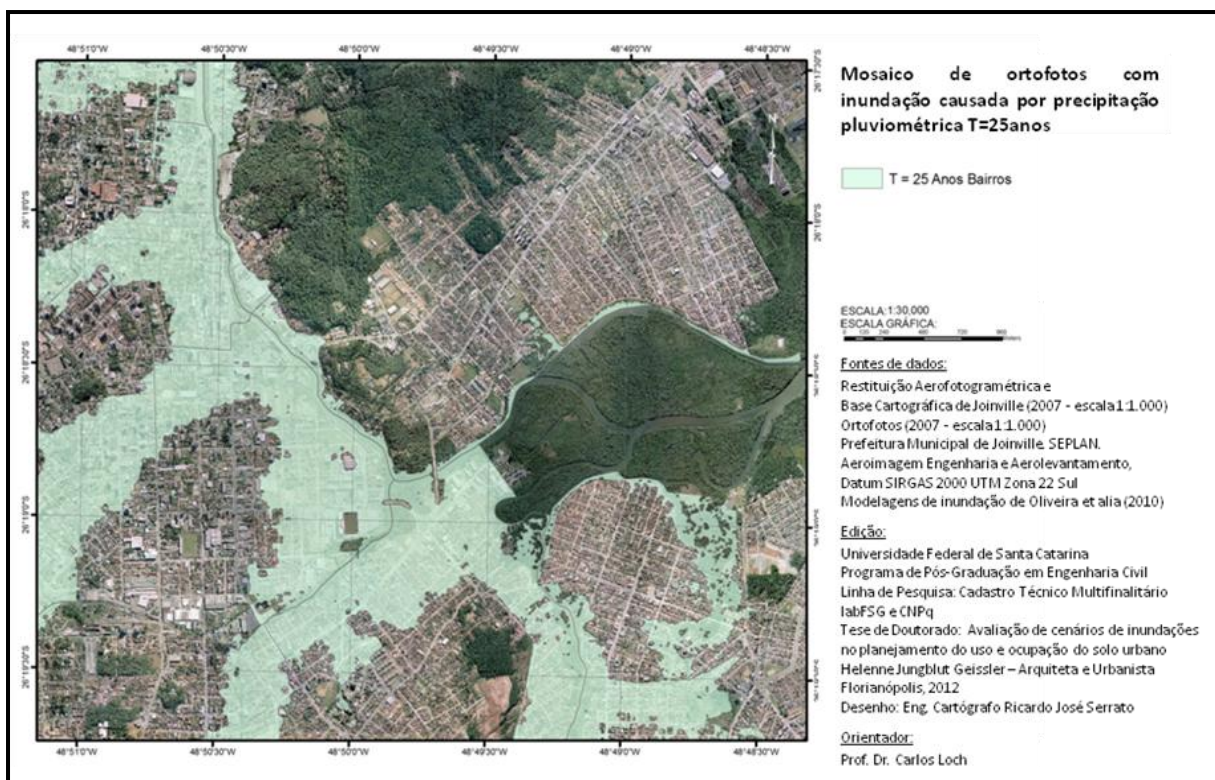
A inundação aumenta de modo crescente para T=25 anos nos rios da bacia. Analisando os rios a partir da foz e na margem esquerda nota-se que o rio Itaum-Mirim, rio Itaum-Açu, rio Bucarein, rio Jaguarão, rio Mathias, rio Morro Alto, rio Cachoeira e na margem direita rio Mirandinha inundam áreas maiores nos bairros.

Tabela 19 - Bairros afetados por inundação T=25anos

bairro	área total (km²)	�rea inundada (km²)	�rea inundada (%)
Zona Industrial Norte	30,24	0,0571	0,19
São Marcos	4,97	0,0118	0,24
Nova Brasília	9,33	0,0289	0,31
Adhemar Garcia	1,96	0,0159	0,81
Fátima	2,22	0,9572	43,11
Guanabara	2,55	1,3209	51,8
Tupy Industrial	1,47	0,0212	1,44
Centro	1,31	0,7263	4,15
Boa Vista	5,36	0,2227	4,24
Glória	5,48	0,0735	1,34
Jarivatuba	2,09	0,2654	12,70
Boehmerwald	3,16	0,7701	24,37
Floresta	5,01	0,1106	2,21
It�nga	7,90	0,3306	4,18
Costa e Silva	6,60	1,5308	23,19
Santo Antônio	2,20	1,1446	52,03
João Costa	3,41	0,8806	25,82
Petrópolis	3,04	0,8107	26,67
Itaum	3,16	0,9747	30,85
Bucarein	2,04	1,1113	54,48
An�ta Garibaldi	3,04	1,2769	42,00
Atiradores	2,73	0,1469	5,38
America	4,54	1,3327	29,35
Saguaçu	4,89	1,2010	24,56
Iririú	6,26	0,1040	1,66
Bom Retiro	3,89	0,5159	13,26
Vila Nova	12,92	0,0789	0,61
Parque Guarani	4,46	0,3016	6,76
		14,06	

Tabela 20 – Habitantes afetados por inundação T=25anos

bairro	População total	Habitantes possivelmente afetados	habitantes (%)
Zona Industrial Norte	2334	4	0,19
São Marcos	2592	6	0,24
Nova Brasília	12010	37	0,31
Adhemar Garcia	10411	84	0,81
Fátima	14417	6215	43,11
Guanabara	9513	4928	51,8
Tupy Industrial	57	0	1,44
Centro	5133	213	4,15
Boa Vista	17630	748	4,24
Glória	8432	113	1,34
Jarivatuba	16864	2142	12,70
Boehmerwald	8632	2104	24,37
Floresta	18121	400	2,21
It�nga	6835	286	4,18
Costa e Silva	25321	5872	23,19
Santo Antônio	5543	2884	52,03
João Costa	10945	2826	25,82
Petrópolis	13764	3671	26,67
Itaum	12368	3816	30,85
Bucarein	5583	3042	54,48
An�ta Garibaldi	7952	3340	42,00
Atiradores	5049	272	5,38
America	10810	3173	29,35
Saguaçu	10900	2677	24,56
Iririú	23883	396	1,66
Bom Retiro	10810	1433	13,26
Vila Nova	19824	121	0,61
Parque Guarani	10317	697	6,76
	294.040	51.500	



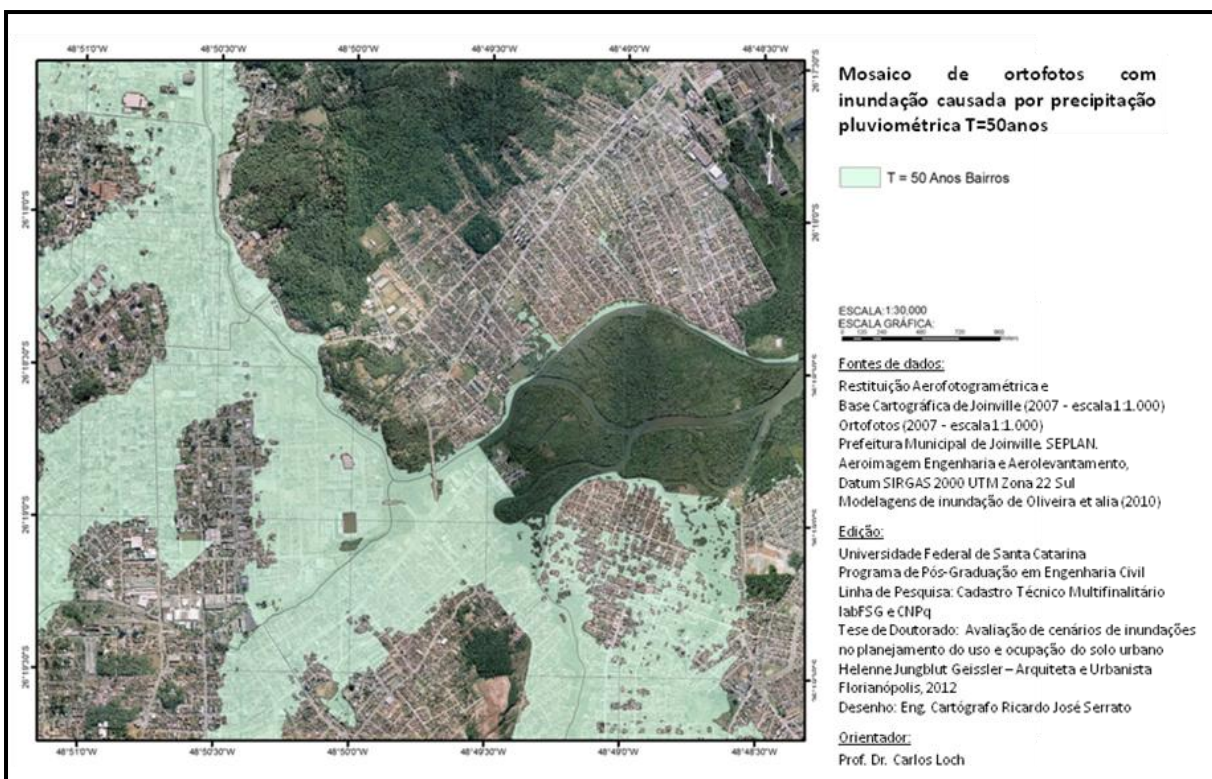
5.3.4 Inundação causada por precipitação pluviométrica T=50 anos

A inundação T=50 anos atinge 29 bairros e inunda área de 16,17 km², vide Fig. 27 e Tabela 21, um acréscimo de 2,11 km² ou 86,95 % do cenário T=25 anos em relação ao cenário de inundação T=10 anos.

A inundação aumenta severamente para T=50 anos na bacia. Analisando os rios a partir da foz, margem esquerda, nota-se que o rio Itaum-Mirim, rio Itaum-Açu, rio Bucarein, rio Jaguarão, rio Mathias, rio Morro Alto, rio Cachoeira e na margem direita rio Mirandinha observa-se que a inundação atinge a área máxima comparada aos cenários anteriores.

Tabela 21 - Bairros afetados por inundação T=50anos

bairro	área total (km ²)	área inundada (km ²)	área inundada (%)
Zona Industrial Norte	30,24	0,0945	0,31
São Marcos	4,97	0,0329	0,66
Nova Brasília	9,33	0,0498	0,53
Adhemar Garcia	1,96	0,0315	1,61
Fátima	2,22	1,5518	69,90
Guanabara	2,55	1,4801	58,04
Tupy Industrial	1,47	0,0061	0,41
Centro	1,31	0,8823	67,35
Boa Vista	5,36	0,2607	4,86
Glória	5,48	0,1056	1,93
Jarivatuba	2,09	0,3018	14,44
<i>Boehmerwald</i>	3,16	0,8627	27,30
Floresta	5,01	1,1455	22,86
Itinga	7,90	0,3850	4,87
Costa e Silva	6,60	1,7350	26,29
Santo Antônio	2,20	1,2504	56,84
João Costa	3,41	0,9938	29,14
Petrópolis	3,04	0,9132	30,04
Itaum	3,16	1,1046	34,96
Bucarein	2,04	1,3560	66,47
Profipo	1,83	0,0007	3,83
Anita Garibaldi	3,04	1,4408	47,39
Atiradores	2,73	0,1780	6,52
América	4,54	1,5535	34,14
Saguaçu	4,89	1,3451	27,51
Iriirú	6,26	0,1340	2,14
Bom Retiro	3,89	0,5605	14,41
Vila Nova	12,92	0,0869	0,67
Parque Guarani	4,46	0,3932	8,82
Santa Catarina	5,23	0,0003	0,01
		16,17	



Mosaico de ortofotos com inundação causada por precipitação pluviométrica T=50anos

T = 50 Anos Bairros

ESCALA: 1:30.000
ESCALA GRÁFICA:

Fontes de dados:

Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevanteamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch

Estima-se que 73.145 habitantes sejam afetados, vide Tabela 22.

Tabela 22 - Habitantes afetados por inundação T=50anos

bairro	População total	Habitantes possivelmente afetados	habitantes (%)
Zona Industrial Norte	2334	7	0,31
São Marcos	2592	17	0,66
Nova Brasília	12010	64	0,53
Adhemar Garcia	10411	168	1,61
Fátima	14417	10077	69,90
Guanabara	9513	5521	58,04
Tupy Industrial	57	0	0,41
Centro	5133	3457	67,35
Boa Vista	17630	857	4,86
Glória	8432	163	1,93
Jarivatuba	16864	2435	14,44
Boehmerwald	8632	2357	27,30
Floresta	18121	4142	22,86
Itinga	6835	333	4,87
Costa e Silva	25321	6657	26,29
Santo Antônio	5543	3151	56,84
João Costa	10945	3189	29,14
Petrópolis	13764	4135	30,04
Itaum	12368	4324	34,96
Bucarein	5583	3711	66,47
Profipo	5971	229	3,83
Anita Garibaldi	5049	2393	47,39
Atiradores	10810	705	6,52
América	10900	3721	34,14
Saguaçu	23883	6570	27,51
Iriirú	10810	231	2,14
Bom Retiro	19824	2857	14,41
Vila Nova	10317	69	0,67
Parque Guarani	18121	1598	8,82
Santa Catarina	6875	7	0,01
	306.886	73.145	

5.3.5 Lotes inundados em relação ao tempo de retorno T

Resumiu-se os resultados obtidos no ArcGIS para os lotes afetados por inundação relacionando o período de retorno, vide Tabela 23.

Tabela 23 – Lotes afetados por inundação atualmente

	T=5 anos	T=10 anos	T=25 anos	T=50 anos
lotes afetados	13.208	17.591	21.586	25.094

5.3.6 Comparação entre cenários de inundações gerados por precipitações pluviométricas

Os cenários atuais em períodos de retorno (T) 5, 10, 25 e 50 anos apresentam gradação crescente na área inundada 7,16 km², 10,73 km², 14,06 km² e 16,17 km², vide Fig. 28, Fig. 29, Fig. 30 e Fig. 31.

A observação dos quatro cenários gerados mostra que as inundações se estendem por quase toda a extensão do rio Cachoeira, do entorno da foz da bacia do rio Walter Brandt até a foz da bacia do rio Jaguarão. Destacam-se as inundações nas sub-bacias do rio Bom Retiro, Mathias, Jaguarão, Bucarein, Itaum-Açu e Leito Antigo do Rio Cachoeira.

A superposição de modelos à cartografia em SIG mostrou-se eficiente para detectar a posição de elementos afetados. Ao mesmo tempo, o refinamento topográfico favoreceu a análise de profundidades de inundação. Este tipo de informação é muito útil para a Defesa Civil na preparação de emergências e para gerar o Zoneamento de Cheias recomendado por Tucci (2004), o qual é composto por 3 zonas; Zona de Passagem de Enchente, Zona com Restrições e Zona de Baixo Risco. Obviamente, o fator densidade é bastante importante para identificar a quantidade de habitantes afetados por submersão, e que serão impactados no caso de inundação.

Oliveira et al. (2010) concordam que a profundidade de inundação é um parâmetro importante para detectar o perigo em inundações.

Recomenda-se utilizar escala de níveis; 0,5 m para altura do limite “H” para delimitar as zonas. O risco é moderado quando $H < 0,5\text{m}$ e alto se $H > 0,5\text{m}$. A altura $H = 0,5\text{m}$ constitui um valor limite importante para as pessoas estando ligada à capacidade de mobilidade e deslocamentos. Além disso, estes autores listam uma série de problemas e soluções do impacto da inundação $T = 50$ anos na bacia do rio Cachoeira:

- a) Afeta 23 escolas, 3 apenas na bacia do rio Bucarein. Dos 5 hospitais de Joinville, 4 são diretamente afetados por submersão, corte de energia elétrica e ameaçando o outro muito próximo. 9 unidades de saúde, 2 unidades de pronto atendimento e 3 terminais de ônibus também são afetados;
- b) A profundidade de inundação atinge e supera 2 m em diversos locais na bacia. A grande quantidade de edificações com tipologia de um pavimento, onde a profundidade de inundação é maior de 2 m agrava o problema;
- c) A área remanescente na bacia é de 25,45 km². Ainda há 30% de lotes livres, sendo que 15 % situam-se em áreas edificáveis; nascente do Cachoeira, Jaguarão, Bucarein e Itaum-Açu;
- d) O aumento de impermeabilização do solo e de edificação causará expansão da área afetada (planimetria) e elevará a cota de inundação (topografia), expondo maior número de habitantes à inundação de rios;
- e) Convém proibir a ocupação humana em zonas inundáveis críticas. Hospitais, Asilos, Escolas, Corpo de Bombeiros e locais de atendimento ao público devem ser movidos para terras elevadas e haver folga acima do nível de inundação;
- f) Recomenda-se aumentar a percepção do risco, promover simulações e treinamentos para desastres no mínimo uma vez por ano, dentre outras medidas;
- g) Incentivar-se a preservação das zonas de amortecimento de cheias e a restauração ecológica, dentre outras medidas;
- h) Cerca de 20% da superfície total da bacia do rio Cachoeira é uma área inundável, das quais cerca de 90% estão urbanizadas.

O código de posturas deve ser modificado, no sentido de contemplar as inundações;

- i) Deve-se proceder a uma avaliação e medidas de proteção tipológica e construtiva e de segurança (estrutura, vedações e materiais) construções e edificações à prova de enchente, ao menos para enchentes frequentes.

Estima-se que as projeções, para as áreas inundadas e número de habitantes afetados, possam ser maiores do que as apresentadas, em razão das incertezas e limitações da modelagem. Há prognóstico de agravamento de inundações, considerando as tendências de crescimento populacional na bacia e que os lotes vagos sejam edificadas e impermeabilizados, vide Tabela 24 e Tabela 25.

Tabela 24 – Comparação entre áreas inundadas atualmente e projeção futura.

	T=5 anos	T=10 anos	T=25 anos	T=50 anos
Área Inundada atualmente (km ²)	7,16	10,73	14,06	16,17
Área Inundada no futuro (km ²)	13,15	15,59	18,30	20,19
Diferença entre cenários (km ²)	5,99	4,86	4,24	4,02

Fonte: adaptado de Oliveira et al. (2010)

Tabela 25 – Comparação entre habitantes afetados por inundação atualmente e projeção futura.

	T=5 anos	T=10 anos	T=25 anos	T=50 anos
habitantes afetados por inundação atualmente	41.495	45.910	51.500	73.145
habitantes afetados por inundação no futuro	64.504	77.510	91.067	132.320
Diferença entre cenários	23.009 ou 55,45%	31.600 ou 68,83%	39.567 ou 76,83%	59.174 ou 80,09%

O pior cenário para a bacia do Cachoeira é a cheia de rio causada por precipitação pluviométrica associada à maré-alta simultânea provocando efeito de represamento, ainda não modelada até o momento. Deve-se realizar a modelagem com período de retorno de T=100 anos ou mais, simultâneas às marés-altas. É necessário agregar a discussão dos processos de elevação do nível do mar para Joinville.

A Carta de Risco e de Múltiplos Riscos, envolvendo também escorregamentos, e outros, Estudos de Vulnerabilidade e Sistemas de Previsão e Alerta de inundações também devem ser desenvolvidos para instrumentalizar o poder público, Defesa Civil e percepção do risco de habitantes de Joinville.



Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação causada por precipitação pluviométrica T=5anos

 T=5 Anos Lotes

ESCALA 1:30.000
ESCALA GRÁFICA:

Fontes de dados:

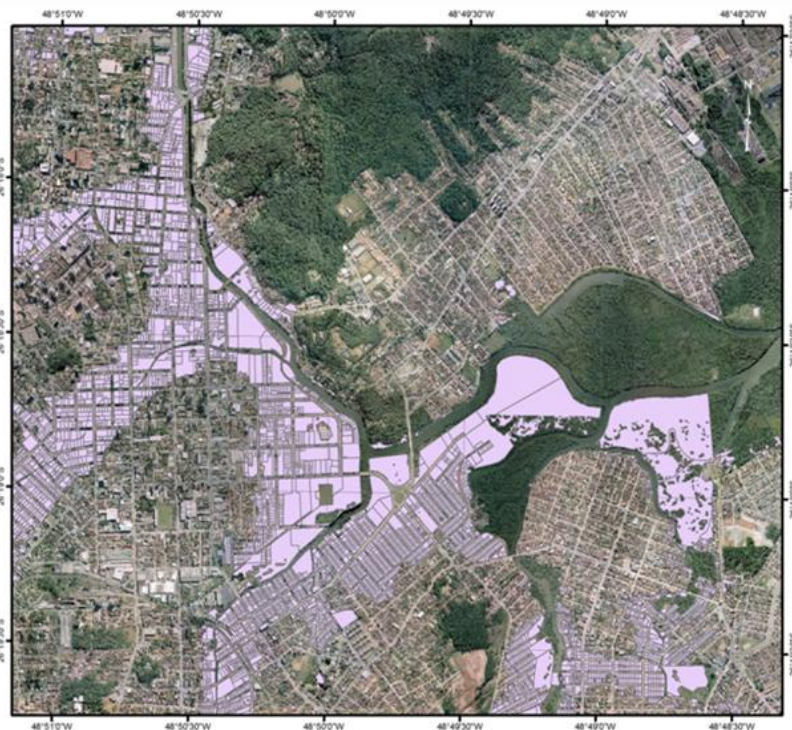
Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN.
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:


Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch



Mosaico de ortofotos com lotes afetados por inundação causada por precipitação pluviométrica T=10anos

 T = 10 Anos Lotes

ESCALA: 1:30.000
ESCALA GRÁFICA:

Fontes de dados:

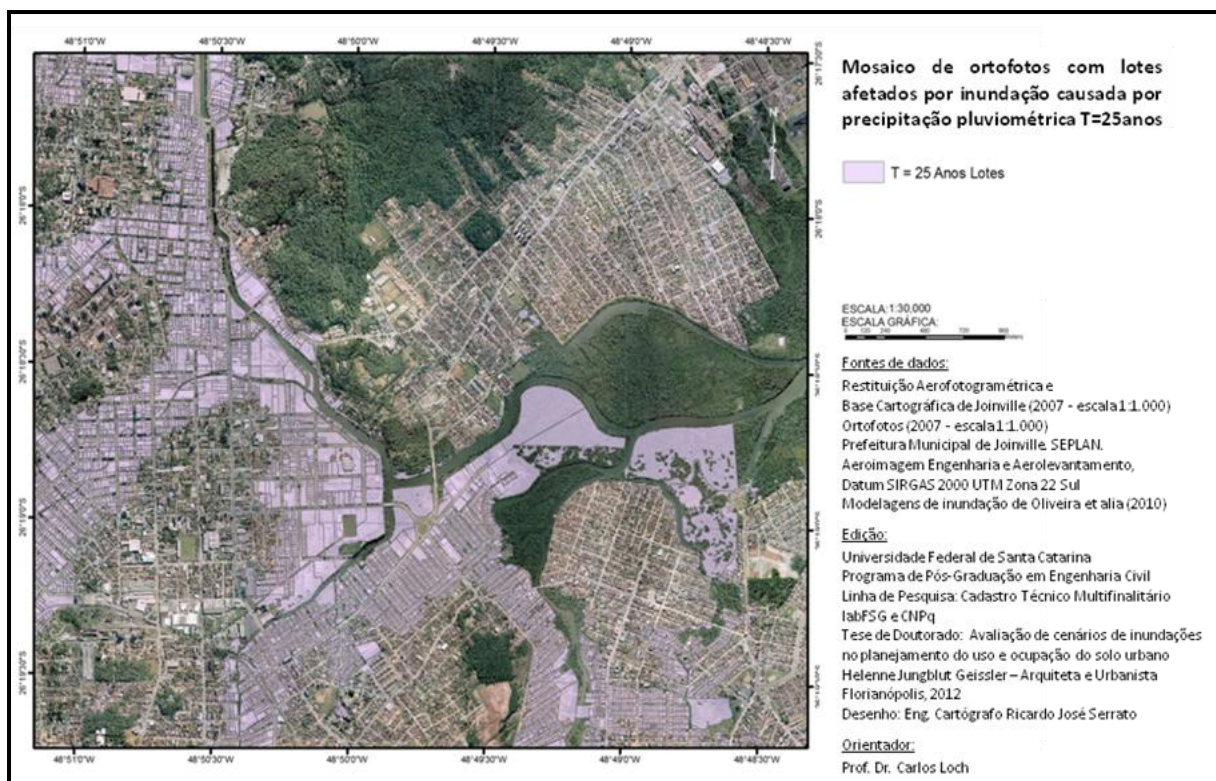
Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville: SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

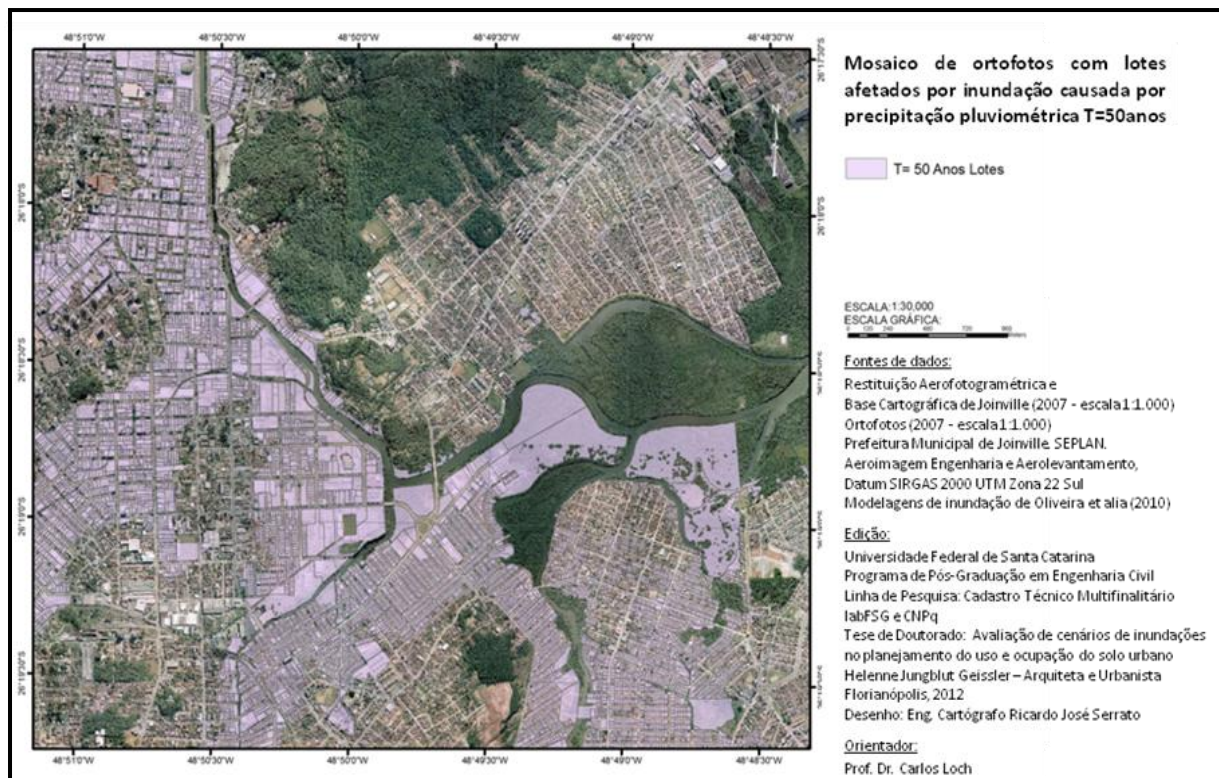
Edição:

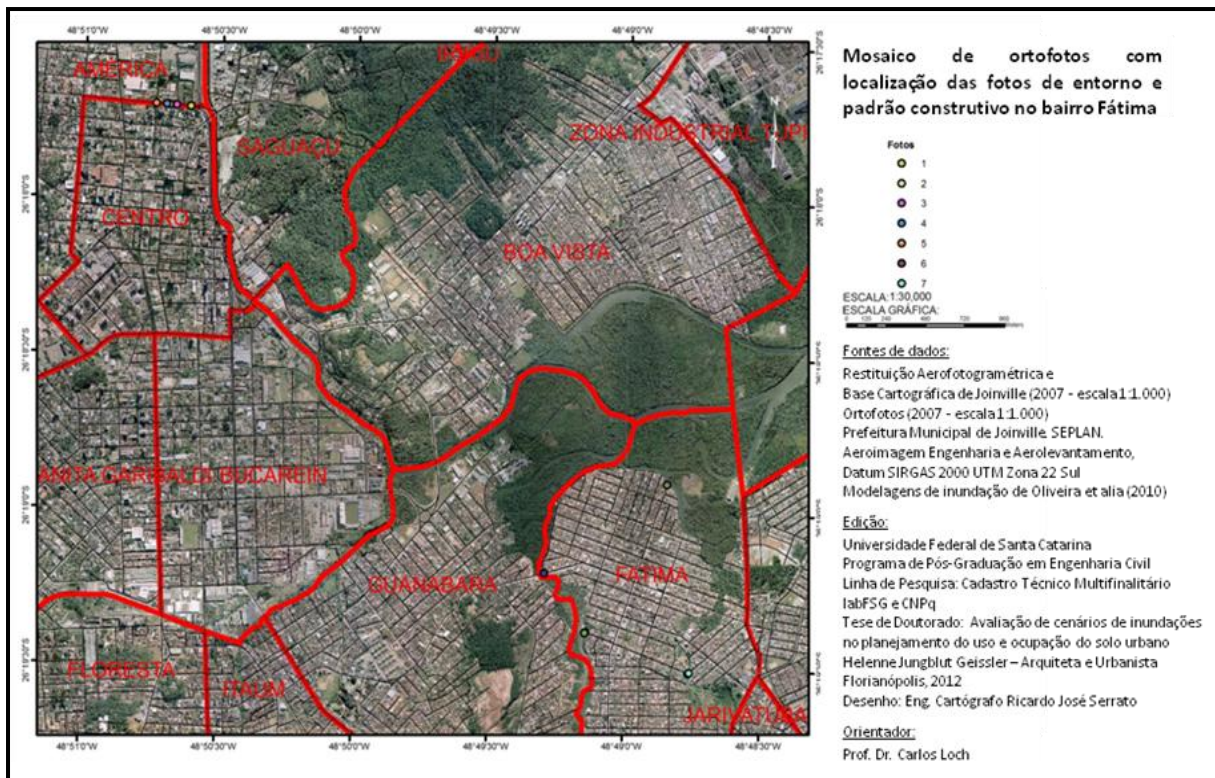
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch







Mosaico de ortofotos com localização das fotos de entorno e padrão construtivo no bairro Fátima

Fotos

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

ESCALA 1:30.000

ESCALA GRÁFICA:

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

Fontes de dados:

Restituição Aerofotogramétrica e
Base Cartográfica de Joinville (2007 - escala 1:1.000)
Ortofotos (2007 - escala 1:1.000)
Prefeitura Municipal de Joinville, SEPLAN,
Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento,
Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22 Sul
Modelagens de inundação de Oliveira et alia (2010)

Edição:

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário
IabFSG e CNPq
Tese de Doutorado: Avaliação de cenários de inundações
no planejamento do uso e ocupação do solo urbano
Helenne Jungblut Geissler – Arquiteta e Urbanista
Florianópolis, 2012
Desenho: Eng. Cartógrafo Ricardo José Serrato

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Loch

5.3.7 Fotos de entorno em áreas inundáveis

As incursões em campo auxiliaram nas análises expressando a situação encontrada *in loco* nos bairros, entorno do meio construído e no âmbito dos usos residenciais, demonstrando as tipologias habitacionais. Conforme citado anteriormente, foram selecionados por amostragem na bacia do Cachoeira um bairro de baixa e outro de alta renda, que são atingidos por inundações de marés-altas e inundações geradas por precipitações pluviométricas.

Apresentam-se nos mapas de tomada fotográfica o local de registro das fotos no bairro Fátima e no bairro América relacionado em números.

5.3.7.1 Fotos no bairro Fátima

A posição das fotos no bairro Fátima encontra-se na Fig. 32. A Fig. 33 (n.8) é uma foto do rio vista da Ponte sobre o rio Itaum-Açu, que liga o bairro Guanabara ao bairro Fátima, mostrando as matas ciliares.



Fig. 33. – Vista do rio Itaum-Açu na Ponte da Rua Guanabara

A Fig. 34 (n.9) mostra uma foto com a vista do manguezal na Lagoa de Saguazu. Apesar da degradação ambiental advinda da urbanização nos bairros próximos há trechos extensos da vegetação nativa, ciliar e mangues, ainda encontram-se em bom estado. Notou-se a presença de peixes no rio, aves e outros animais, sendo exemplificado na Fig. 35.



Fig. 34. – Vista do manguezal no trecho final da Rua Fátima



Fig. 35. – Vista de garça nas matas ciliares

A Fig. 36 (n.7) mostra o aspecto de canal situado sobre a esquina da Rua Begônia com a Rua Vasco da Gama.

A Fig. 37, Fig. 38 e Fig. 39 (n.7) mostram tipologias e padrões construtivos encontrados no local. O logradouro apresenta baixo tráfego de veículos. Há pavimentação em alguns trechos da rua e noutros pedriscos e cascalho. Há jardins e arborização nas residências.



Fig. 36. – Vista do canal



Fig. 37. – Vista de residência unifamiliar



Fig. 38. – Vista de residência unifamiliar



Fig. 39. – Vista de residência unifamiliar

A sequência de fotos das casas expressa tipologias de um e de dois pavimentos. O padrão construtivo é de acabamento médio, sendo encontradas residências edificadas em alvenaria.

No outro extremo da Rua Begônia a tipologia das construções continua sendo de um ou dois pavimentos. São encontradas casas em alvenaria e em madeira.

O padrão construtivo é mais baixo demonstrando a fragilidade física das mesmas. Estima-se que há maior vulnerabilidade social às inundações, pela renda menor, vide Fig. 40 e Fig. 41 e Fig. 42 (n. 10 n.11).



Fig. 40. – Vista de residência unifamiliar



Fig. 41. – Vista de residência unifamiliar



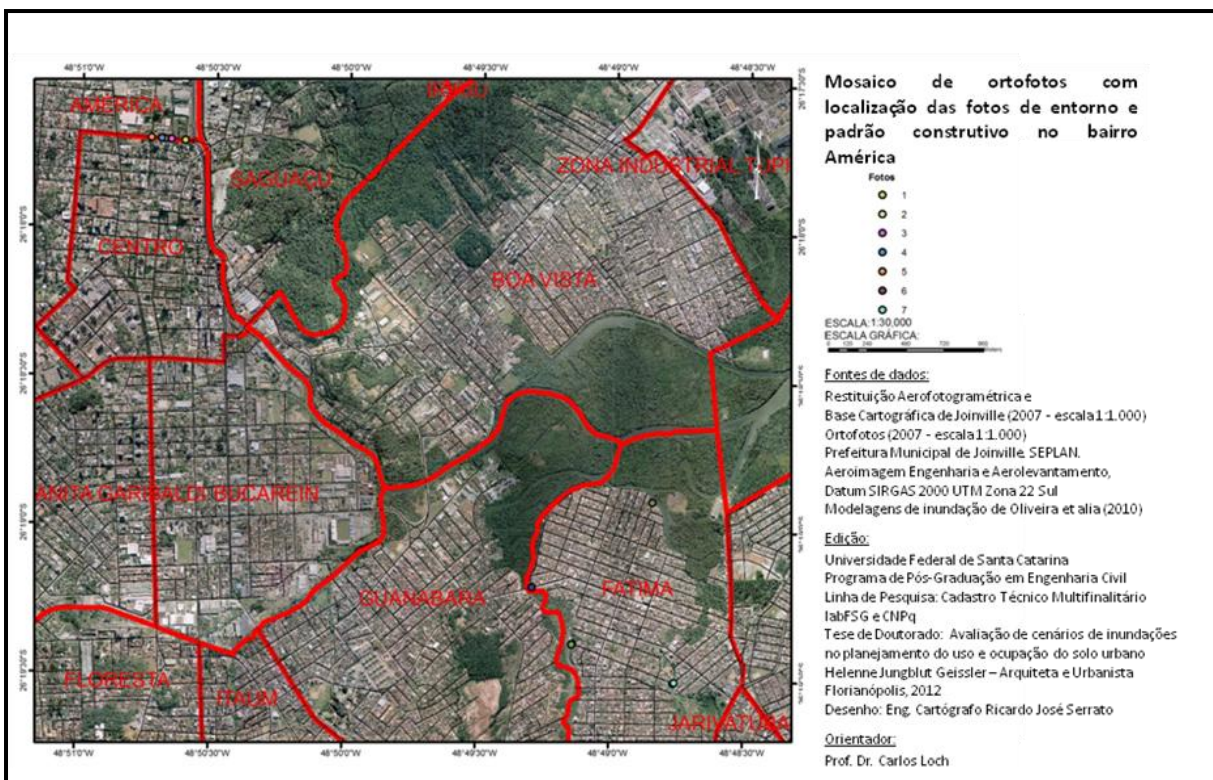
Fig. 42. – Vista de residência unifamiliar

5.3.7.2 Fotos no bairro América

No levantamento fotográfico realizado no bairro América percebe-se uma diferença qualitativa das edificações e aumento do padrão construtivo. A Fig. 43 mostra a localização das fotos no bairro América.

A Fig. 44 mostra do logradouro selecionado na amostragem, sito a Rua Max Colin (n.5). A melhor qualidade na pavimentação é visível. Os usos são mistos, residenciais, comerciais, serviços e outros, vide Fig. 45 (n.1), onde se observa uma banca de revistas e uma academia de ginástica. Na Fig. 46 (n.2) há uma residência, uma loja e uma escola de idiomas. Há diversas imobiliárias e restaurantes no referido logradouro.

Percebe-se que há tanto casas com um ou dois pavimentos, edifícios de três a quatro pavimentos, que são mais antigos. Os edifícios em altura e casas mais recentes e apresentam padrão construtivo alto, observável pelos acabamentos, vide Fig. 46 e Fig. 47 (n.3).



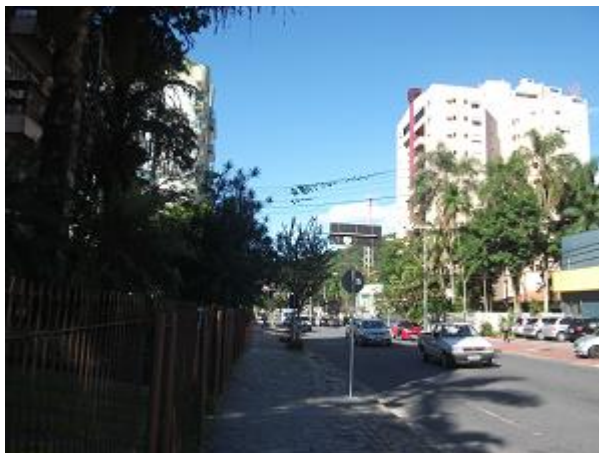


Fig. 44. – Vista da Rua Max Colin esquina com Rua Orestes Guimarães



Fig. 45. – Vista de edifício na Rua Max Colin esquina com Rua Vargão

Nas residências mais antigas evidencia-se a presença de jardim e quintais maiores, com grande quantidade de vegetação e arborização, conforme expressa o exemplo da Fig. 48 (n.4).



Fig. 46. – Vista de residência unifamiliar e loja



Fig. 47. – Vista de edifício residencial multifamiliar de alto padrão



Fig. 48. – Vista de residência unifamiliar

A Fig. 49 mostra o aspecto do rio Cachoeira nas imediações do bairro América próximo ao Centro do município de Joinville.



Fig. 49. – Vista do leito do rio Cachoeira, matas ciliares degradadas e aves na margem

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

6.1.1 Conclusão geral

O estudo de cheias e uso do geoprocessamento para realizar análises espaciais são áreas do conhecimento em franca expansão e desenvolvimento, sendo campo de pesquisadores no Brasil e exterior. Os métodos têm sido constantemente propostos e aperfeiçoados, visando instrumentalizar a decisão das populações frente a desastres naturais. A informação possui um papel essencial nas modelagens computacionais, gerar produtos cartográficos e temáticos para o entendimento de inundações de marés-altas e de rios no meio físico, para a prevenção em Defesa Civil e planejamento e gestão territorial.

Utilizou-se uma área piloto; um estuário-litorâneo, Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, situada a nordeste catarinense, litoral norte do Estado de Santa Catarina, com drenagem para a Lagoa de Saguauçu, que por sua vez deságua em complexo estuarino mais amplo a Baía da Babitonga e então no Oceano Atlântico. Trata-se de uma bacia de planície, sendo influenciada por marés até a metade do curso do rio Cachoeira taxa elevada de impermeabilização do solo e de densidade demográfica, onde também ocorrem precipitações pluviométricas muito intensas.

A pesquisa de processos de elevação do nível do mar e do estudo de inundações, utilizando a superposição de modelos e temas, contribui para o melhor compreender o desenvolvimento de inundações em estuários litorâneos e para embasar estudos de vulnerabilidade.

A análise dos resultados mostra gradação crescente nas áreas inundadas, tanto nos cenários de marés-altas quanto gerados por precipitações pluviométricas, estando relacionadas à altimetria encontrada na bacia, visível nos mapas temáticos, dentre outros fatores do meio receptor. Deve-se ressaltar que as análises espaciais e os resultados obtidos nessa pesquisa dependeram da disponibilidade dos materiais; cartografia em escala grande 1 : 1.000, dentre outros, sem os quais seria inviabilizada a identificação de posição e mensuração com tal rigor de detalhe.

Os cenários de submersão e os produtos temáticos gerados permitem avaliar no nível de desenho urbano o impacto das inundações geradas por marés-altas e geradas por precipitações pluviométricas nos bairros.

Os produtos temáticos validaram a Hipótese 1, conseguindo-se identificar nos lotes para cada um dos 6 cenários de inundação a posição e as áreas afetadas, gerando inclusive planilhas com código dos lotes/nomes de logradouros afetados e planilhas com códigos dos lotes e área individual afetada no lote.

Os cenários de submersão validaram a Hipótese 2, de que há conflitos graves envolvendo uso e ocupação do solo versus riscos geoambientais de inundação e provar a necessidade de gerar diretrizes para medidas não estruturais, atuando no âmbito do planejamento e gestão urbano, de uso e ocupação do solo coerentes com a prevenção em Defesa Civil.

A demonstração realizada nessa tese visa destacar a necessidade de abordagem estratégica em áreas vulneráveis a inundações e de desdobramentos que devam advir. Em termos de uso, a abordagem de usos na zona de perigo para propósitos de banimento residencial, o que implica em Reordenamento Territorial.

Marés-altas, processos de elevação do nível do mar e identificação de limites de áreas inundáveis tendem a gerar conflitos, especulação imobiliária, devendo ser consideradas por planejadores e gestores.

A discussão realizada ao longo dessa tese mostra que se devem priorizar as medidas não estruturais, planejamento e gestão de uso e ocupação do solo para o enfrentamento das inundações de maré-alta, de inundações geradas por precipitações pluviométricas e de processos de elevação do nível do mar.

6.1.2 Conclusões específicas

6.1.2.1 Conclusões quanto ao estudo exploratório de paleoníveis do nível do mar

A pesquisa em fontes bibliográficas dos diversos campos disciplinares é útil para detectar paleoníveis marinhos, o que instrumentaliza a geração de cenários futuros envolvendo processos de elevação do nível do mar. Esse tipo de cenário deve ser considerado em estuários litorâneos e zonas costeiras para efeitos de suporte a decisão em planejamento e gestão territorial.

Este tipo de informação permite preparar os municípios costeiros ao planejamento e gestão coerente do uso e ocupação do solo e de infraestrutura, em razão do processo de avanço do nível do mar em relação ao solo.

6.1.2.2 Conclusões quanto à análise de marés-altas em áreas urbanizadas

A superposição entre modelagem de cheias e temas através de Sistema de Informação Geográfica (SIG) mostrou-se adequada para realizar análises espaciais, baseadas em funções matemáticas; Limites e Intersecção.

As análises espaciais permitiram detectar as feições afetadas, sejam bairros, zoneamento, solos e lotes nos dois cenários de maré-alta, 1,6 m e 2,5 m. A partir das operações matemáticas; geométricas, geram-se mapas temáticos e é possível mensurar áreas afetadas, obtendo-se áreas que serão atingidas em caso de maré-alta, e realizar a estimativa de habitantes afetados por bairro.

O padrão de desenvolvimento das inundações segue a morfologia da topografia da bacia hidrográfica. Áreas naturalmente inundáveis devem ser conservadas ou restauradas. Essa recomendação é útil, pois a maré de 1,6 a 1,7 m de altura ocorre em manguezais e foz de rios.

A população de bairros e lotes, que vem sendo atingida por maré-alta no nível 1,7m, submergindo habitações e outras construções, ocupou áreas impróprias para usos humanos permanentes.

A tendência é de que o nível de maré máximo eleve-se para Joinville futuramente. Sendo assim, as marés-altas mais elevadas, inundarão áreas maiores e afetarão maior número de habitantes.

Uma vez que há lotes remanescentes na bacia hidrográfica do rio Cachoeira é indispensável modificar e controlar o uso e ocupação do solo e impermeabilização do solo. Esse conjunto de medidas não estruturais possibilita evitar a elevação da cota de inundação e aumento de áreas afetadas, que é uma tendência apresentada nos diversos quadros.

Recomenda-se banir o uso residencial para a cota topográfica 1,7 m e inferiores.

6.1.2.3 Conclusões quanto à análise de inundações geradas por precipitações pluviométricas em áreas urbanizadas

As operações matemáticas; geométricas, realizadas para analisar os quatro cenários com período de retorno (T) 5, 10, 25 e 50 anos produziram mapas temáticos nos quais é possível detectar a extensão das áreas afetadas e estimar a quantidade de habitantes afetados em cada bairro. O padrão das inundações segue a hidrografia e amplia-se conforme a topografia e outros parâmetros.

Partindo da premissa que há perspectiva de piora futura dos cenários de inundações advinda da ocupação de lotes remanescentes, que elevará a cota de inundação dos rios, seria prudente o poder público mudar e controlar o uso e ocupação do solo.

Os cenários permitem instrumentalizar as decisões do poder público e de demais atores sociais em Planos de Contingência, dentre outros.

Considerando que os usos residenciais predominam em grandes extensões atingidas por inundação causa por precipitações pluviométricas os produtos temáticos podem auxiliar, por exemplo, em campanhas futuras que atuem na percepção do risco pelos habitantes.

A delimitação de áreas atingidas viabiliza preparar a população a ser atingida em caso de desastre pela Defesa Civil e para promover as mudanças necessárias na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

Outros dispositivos também podem ser incorporados em áreas inundáveis, a exemplo de tipologias construtivas, construções a prova de enchente, dentre outros. É necessário também prever onde serão situados os abrigos para a população que tiver de abandonar suas casas.

Recomenda-se banir uso residencial abaixo em Zonas de Passagem de Enchente e controlar Zonas com Restrições e de Baixo Risco. Além disso, é prudente assegurar que construções, serviços e instituições importantes sejam movidos para terras mais elevadas.

6.2 Recomendações

Os estudos de vulnerabilidade, refinamento de profundidades de inundação para cenários de maré-alta e para os cenários com período de retorno $T=5, 10, 25$ e 50 anos e cálculos da altura da água nas construções e edificações podem ser objetos de outras pesquisas.

Recomenda-se que o município de Joinville desenvolva Sistemas de Previsão e Alerta de inundações geradas por marés-altas e geradas por precipitações pluviométricas, até mesmo porque esses desastres podem causar erosões costeiras e escorregamentos severos.

O pior cenário para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira é a maré-alta simultânea a cheia de rio, causando efeito de represamento, que não foi modelada até o momento, podendo ser objeto de uma pesquisa futura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, J.O.; NYBERG, L. Using official map data on topography, wetlands and vegetation cover for prediction of stream water chemistry in boreal headwater catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v.13, p. 537-549, 2009.

ÂNGULO, R.J. Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. Tese de Doutorado. São Paulo, USP, 1992. 334p.

ÂNGULO, R.J.; LESSA G.C. The Brazilian sea-level curves : a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. *Mar. geol.*, v.140, p.140-166, *Mar. geol.*, v.150, p.178-187, 1997.

BAGGIO S.B. Água subterrânea em Joinville-SC. Avaliação hidrogeológica do aquífero fraturado. Dissertação de Mestrado, São Paulo, USP, 1997. 91p.

BARNOLAS M.; LLASAT M.C. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v.7, p.271-281, 2007.

BARRAQUÉ, B.; FORMIGA JOHNSSON, R. M.; NOGUEIRA DE PAIVA BRITTO, A. L. The development of water services and their interaction with water resources in European and Brazilian cities. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1153-1164, 2008.

BENETTI, W.C.; RAMOS, D.A. Sistematização de dados pluviométricos para a região do município de Joinville/SC. In: 23th Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2005. Anais. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/TV-066.pdf>> Acesso em 19 Março de 2012.

BIGARELLA, J. J. Temas de Geologia Marinha. In: Cadernos Geográficos. Publicação do Departamento de Geociências – CFH/UFSC, Florianópolis, Imprensa Universitária UFSC, Número 3, dez, 2000.

BRASIL. Lei. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997. 15p.
Disponível em : <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>
Acesso em 19 Março de 2012.

BRÜNDL, M.; ROMANG, H.E.; BISCHOF, N.; RHEINBERGER, C.M.
The risk concept and its application in natural hazard risk management
in Switzerland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, p. 801–813, 2009

CASTRO, C.B. et al. Riscos ambientais e Geografia conceituações,
abordagens e escalas. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.
28-2, 2005. p. 11-30.

CASTRO, A.L.C. Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina
de desastres. Brasília, MPO/Departamento de Defesa Civil. 1998. 283 p.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI,
C.E.M. Hidrologia. Porto Alegre, UFRGS, 2004. 943p. p. 485-525.

CROW, W. T.; RYU, D. A new data assimilation approach for
improving runoff prediction using remotely-sensed soil moisture
retrievals. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v.13, p. 1-16, 2009

CRUZ, M.A.S. Otimização do controle da drenagem em microbacias
urbanas. Tese de Doutorado. Porto Alegre, UFRGS/IPH, 2004. 214p.

CRUZ, J. C. L. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de
aspectos técnicos e conceituais. Tese de Doutorado. Porto Alegre,
UFRGS/ IPH, 2001. 189p.

DAVOLIO, S. MIGLIETTA, M.M.; DIOMEDE, T.; MARSIGLI, C.:
MORGILLO, A.; MOSCATELLO, A. A meteo-hydrological prediction
system based on a multi-model approach for precipitation forecasting.
Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 8, pp.143-159, 2008

DE CESARE, C. O cadastro como instrumento de política fiscal. In:
ERBA, D.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA, P. N. Cadastro técnico
multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana. Rio de
Janeiro, Ministério das Cidades/ Caixa Econômica Federal/ Lincoln
Institute of Land Policy/ UFRJ, 2005. p. 39-69.

DEFESA CIVIL DE JOINVILLE. Tábua de Marés de Joinville.
Disponível em: <<http://defesacivil.joinville.sc.gov.br/conteudo/mares>>
Acesso em 19 Março de 2012

DE MOEL, H. VAN ALPHEN, J. ; AERTS. J. C. J. H. Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, n. 2, 2009. p. 289-301.

DIAS, M.A.F.S. (org.) As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos, Florianópolis : EPAGRI, 2008, 67p.

DORNER, W.; PORTER, M.; METZKA, R. Are floods in part a form of land use externality ? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v.8, pp. 523-532, 2008.

DYHOUSE, G. Flood modelling Using HEC-RAS. Haestad Press, Waterbury (USA), 2003.

EFSTRATIADIS A.; NALBANTIS, I.; KOUKOUVINOS, A.; ROZOS, E.; KOUTSOYIANNIS, D. Hydrogeios: a semi-distributed GIS-based hydrological model for modified river basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 12, p. 989-1006, 2008.

ERBA, D. A. O cadastro territorial: presente, passado e futuro. In : ERBA, D.; OLIVEIRA, F. L. ; LIMA Jr, P. N. (org). Cadastro técnico multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades/ Caixa Econômica Federal/ Lincoln Institute of Land Policy/ Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional da UFRJ, 2005. 144p. pp.13-38.

ESRI (a) Clip (Analysis). ArcGIS Desktop Help 9.3, 2011. Disponível em :
<[http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=clip_\(analysis\)](http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=clip_(analysis))> Acesso em 19 de março de 2012.

ESRI (b) Intersect (Analysis). ArcGIS Desktop Help 9.3, 2011. Disponível em : <
[http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=Intersect%20\(Analysis\)](http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=Intersect%20(Analysis))> Acesso em 19 de março de 2012.

FAIRBRIDGE, R.W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E. CATO, I. (eds.) Chemistry and biochemistry of estuaries. John Wiley and Sons, New York, 1980. p. 1-35.

FERNÁNDEZ-LAVADO, C.; FURDADA, G.; MARQUÉS, M.A. Geomorphological method in the elaboration of hazard maps for flash-floods in the municipality of Jucuarán (El Salvador). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 7, p. 455-465, 2007.

FLATTER, D. XTide, Harmonic tide clock and tide predictor. Disponível em <<http://www.flaterco.com/xtide/>> Acesso em 1 de Julho de 2011.

FRANCO, A. S. Marés: fundamentos, análise e previsão. Ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, 1997. viii, 268p: il.

GALISKOVA L.; SCHWERZMANN A.; RAIBLE C.C.; STOCKER T.F. Future storm surge impacts on insurable losses for the North Sea Region. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 11, p. 1205–1216, 2011.

GARCIN M.; DESPRATS J.F.; FONTAINE M.; PEDREROS R.; ATTANAYAKE N.; FERNANDO S.; SIRIWARDANA C.H.E.R.; DE SILVA U.; POISSON, B. Integrated approach for coastal hazards and risks in Sri Lanka, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 8, p. 577-586, 2008.

GEISSLER, H.J. Tidal monitoring in coastal estuaries flooding. In : 7th International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), Antalya, 2011. Proceedings. Disponível em <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/Gi4DM/CDDATA/index.html>> Acesso em 19 de março de 2012.

GEISSLER, H.J. German Town Models in Subtropics and the Increase of Disasters In: 17th International seminar on urban form - ISUF. Formation and Persistence of Townscape, Hamburg e Lübeck, 2010. Proceedings. Disponível em: <http://www.isuf2010.de/Papers/Geissler_Helenne.pdf> Acesso em 07 Março de 2012

GEISSLER, H.J.; LOCH, C. Airborne laser scanner and large scale cartography in risk mapping : landslides and floods. In : 6th International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), Torino, Politecnico di Torino, 2010. Proceedings.

GONÇALVES, M.L. Geologia para planejamento de uso e ocupação territorial do município de Joinville. Tese de Doutorado, São Paulo, USP, 1993. 71p.

GORNITZ, V.; COUCH, S.B.; HARTIG, E.K. Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area. *Glob. Planet. Chang.*, v. 32, p. 61-88, 2001.

GRUBER, M. Alternative solutions for public and private catastrophe funding in Austria. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 8, pp. 603-616, 2008.

HAGEMEIER-KLOSE, M.; WAGNER, K. Evaluation of flood hazard maps in print and web mapping services as information tools in flood risk communication. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, p. 563-574, 2009.

HEEMANN, D.; HACKENBERG, A.M. Evolução do coeficiente de escoamento superficial como consequência do adensamento urbano na área central de Joinville, SC 2003. In: 22nd Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Anais. Disponível em : <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/clxiii.pdf>> Acesso em 19 de março de 2012

HERRMANN, M. L. P. Levantamento dos desastres naturais causados pelas adversidades climáticas no Estado de Santa Catarina: período 1980 a 2000. Florianópolis, IOESC, 2001. 89p.

HERRMANN, M. L. P.; KOBAYAMA, M.; MARCELINO, E. V. Inundação gradual. In: HERRMANN, M. L. P. (Org.). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: IOESC, 2007, p. 89-92.

HILLIER, A. Working with ArcGIS 9.2. manual. University of Pennsylvania. Disponível em: <http://repository.upenn.edu/cplan_papers/48/> Acesso em 19 de março de 2012.

HOLUB, M. ; FUCHS, S. Mitigating mountain hazards in Austria - legislation, risk transfer, and awareness building. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, p. 523–537, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE registra efeitos do aquecimento global na costa brasileira. Disponível em : <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=916&id_pagina=1> Acesso em 19 de março de 2012.

IPPUJ. Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Joinville Bairro a Bairro 2008. 2008. Disponível em : <<http://www.ippuj.sc.gov.br/conteudo.php?paginaCodigo=25>> Acesso em 28 de fevereiro de 2012.

ISDR. INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building the resilience of nations and communities to disasters, Geneva, 2005. Disponível em : <<http://www.eird.org/imagens/pdf/bochure-isdr-english.pdf>> Acesso em 19 de março de 2012.

JUSBRASIL. Joinville finaliza o Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira. Disponível em: <<http://pref-joinville.jusbrasil.com.br/politica/6587376/geral-joinville-finaliza-o-plano-diretor-de-drenagem-urbana-da-bacia-hidrografica-do-rio-cachoeira>> Acesso em 19 de março de 2012.

KIENBERGER, S.; LANG, S.; ZEIL, P. Spatial vulnerability units – expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, p. 767-778, 2009.

KNIE, J.L.W. (ed) Atlas ambiental da região de Joinville, complexo hídrico da Baía da Babitonga, Florianópolis, FATMA/GTZ, 2004. 144p.

KREIDLOW, R. Defesa Civil de Joinville estuda as marés para ver como fenômeno se comporta na região. Disponível em : <<http://www.clicrbs.com.br/anoticia/jsp/default.jsp?uf=2&local=18§ion=Geral&newsID=a3372546.xml>> Acessado em 1 Julho de 2011

LIMA, O. P. Localização geodésica da linha da preamar média de 1831 – LPM/1831, com vistas à demarcação dos terrenos de marinha e seus acrescidos. Tese de Doutorado, Florianópolis, UFSC, 2002. 270p.

LINDENSCHMIDT, K.-E.; HATTERMANN, F.; MOHAUPT, V.; MERZ, B.; KUNDZEWICZ, Z. W.; BRONSTERT, A. Large-scale hydrological modelling and the Water Framework Directive and Floods Directive of the European Union. 10th Workshop on Large-Scale Hydrological Modelling. Adv. Geosci., v.11, p. 1-6, 2007.

LOCH, C. Cadastro Técnico Multifinalitário: Instrumento de Política Fiscal e Urbana. In: Diego Alfonso Erba. (Org.). Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política fiscal e Urbana. 336 ed. Rio de Janeiro: Caixa Econômica Federal, 2005, p. 71-103.

LOCH, C.; ERBA, D. A. Cadastro técnico multifinalitário : rural e urbano. Cambridge, Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 142p.

MANFREDA, S. Runoff generation dynamics within a humid river basin, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 8, pp. 1349-1357, 2008.

MARCHAND, M. Modelling coastal vulnerability: design and evaluation of a vulnerability model for tropical storms and floods. PhD Thesis, Delft, Technische Universiteit Delft, 2009.

MARFAI, M.A. GIS modelling of river and tidal flood hazards in a waterfront city : case study Semarang city, central Java, Indonesia. Master's Dissertation, Enschede, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, 2003. Disponível em : <http://www.itc.nl/library/papers_2003/msc/ereg/marfaai.pdf> Acesso em 19 de março de 2012.

MARINHA DO BRASIL. Tábuas de marés. Março de 2012. Disponível em : <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>> Acesso em 19 de março de 2012.

MARTENS, T.; GARRELTS, H.; GRUNENBERG, H.; LANGE, H. Taking the heterogeneity of citizens into account, flood risk communication in coastal cities, a case study of Bremen, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 9, p. 1931–1940, 2009.

MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; SUGUIO, K. Oscillations or not oscillations, that is the question : Comment. ANGULO, R.J.; LESSA, G.C. The brazilian sea-level curves : a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. (Mar. geol. v. 140, pp. 140-166) Mar. geol., v. 150, p.178-187, 1998.

Mc GRANAHAN G.; BALK, D.; ANDERSON, B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment & Urbanization. International Institute for Environment and Development, v. 19 n. 1, p.17-37, 2007.

MIGLIETTA, M.M.; REGANO, A. An observational and numerical study of a flash-flood event over south-eastern Italy. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 8, pp. 1417-1430, 2008.

MIRANDA, L.B.; KJERFVE, B.; CASTRO FILHO, B.M. Princípios de oceanografia física de estuários, São Paulo, EdUSP, 2002. 424p.

MONROE, J. S.; WICANDER, R. The Changing Earth: Exploring Geology and Evolution, 2nd ed. Belmont, West Publishing Company, 1997, p. 112 – 113.

MORALES, P.R.D. Estudos Ambientais da Baía da Babitonga – Canal do Linguado. Ministério da Defesa. Comando do Exército. Instituto Militar de Engenharia - IME / Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura Terrestre - DNIT, 2004a. Disponível em :
<galileu.iph.ufrgs.br/mendes/Aulas_2009.../Canal_Linguado/diag_hidro.pdf> Acesso em 19 de março de 2012.

MORALES, P.R.D. Estudos Ambientais da BR-280/SC e da Baía da Babitonga – Canal do Linguado Diagnóstico. Ministério da Defesa. Comando do Exército. Instituto Militar de Engenharia - IME / Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura Terrestre- DNIT, 2004b. Disponível em :
<galileu.iph.ufrgs.br/mendes/...2.../Canal_Linguado/relatorio_final_babi.pdf> Acesso em 19 de março de 2012.

NERILO, N.; MEDEIROS, P.A.; CORDERO, A. Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina. Florianópolis, Ed. da UFSC, Blumenau, Ed. Da FURB, 2002. 137p.

NOBRE, C. palestra: impactos ambientais como o aquecimento global. In: XII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, Belém, UFPA, 2007. Anais.

OLIVEIRA, D.D. (coord.); LANG, A.; MÜLLER, A.S.; GARCIA, F. PDDU - Plano Diretor de Drenagem Urbana da bacia do rio Cachoeira, estudo de marés e definição do nível de base do rio Cachoeira, relatório R3 - Concepção de Cenários, Diagnóstico e Prognóstico, Joinville, Prefeitura Municipal de Joinville, Secretaria de Administração, Engenheiros. Hidrostudio. BRLi. Volumes 1 e 2, 2010.

OLIVEIRA, M.S.C. Os sambaquis da planície costeira de Joinville, litoral norte de Santa Catarina, geologia, paleogeografia e conservação in situ, Dissertação, Florianópolis, UFSC, 2000. 310p.

OTTO-ZIMMERMANN, K. (org.) Resilient Cities, Cities and Adaptation to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2010. New York, Springer, 2011.

PELLETIER, P. Um Japão sem riscos? In: VEYRET, Y.(Org.) Os Riscos – o Homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007. p. 201-220

PETRUCCI, O.; POLEMIO, M. Flood risk mitigation and anthropogenic modifications of a coastal plain in southern Italy: combined effects over the past 150 years. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 7: p. 361-37, 2007.

PETRUCCI, O.; PASQUA, A.A. The study of past damaging hydrogeological events for damage susceptibility zonation. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, p. 881-892, 2008.

PORTMANN, F.; BERKHOFF, K.; HUNGER, M. Advances and visions in large-scale hydrological modeling. Proceedings of the 11th Workshop on Large-scale Hydrological Modelling. Adv. in Geosci, v. 18, p.1-2, 2008.

PUGH, D.T. 1987. Tides, surges and mean sea-level: a handbook for engineers and scientists. Chichester, Wiley, 472p.

ROHLING, E.; GRANT, K.; HEMLEBEN, C.H. SIDDALL, M.; HOOGAKKER, B.A.A.; BOLSHAW, M.; KUCERA, M. High rates of

sea-level rise during the last interglacial period. *Nat. Geosc.*, v. 1. p. 38-42, 2007.

SAITO, S. M. Desastres naturais e geotecnologias - vulnerabilidade - caderno didático No 6. São José dos Campos, INPE, 2011. Disponível em <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/11.16.18.05/doc/publicacao.pdf>> acesso em 19 de março de 2012.

SANTANA, N.A. A produção do espaço urbano e os loteamentos na cidade de Joinville, SC, 1949/1996. Dissertação de Mestrado, Florianópolis, UFSC, 1998.

SCHETTINI, C.A.F.; TRUCOLLO, E.C. Avaliação hidrodinâmica da Baía da Babitonga na região de interesse da usinor. Itajaí : CTTMar – UNIVALI, 2000. relatório técnico. 29p.

SCHETTINI, C.A.F.; TRUCOLLO, E.C. ; RESGALLA Jr, C. ; RÖRIG, L.R. ; KUROSHIMA, K.N. O sistema estuarino da Baía da Babitonga. In : KNIE, J.L.W. Atlas ambiental da região de Joinville. Complexo hídrico da Baía da Babitonga. Florianópolis : FATMA / GTZ - Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 2002. 139p. pp. 113-118.

SCHINKEL, U.; ÁNH, L.D.; SCHWARTZE, F. How to respond to Climate Change Impacts in Urban Areas: A Handbook for Community Action. Cottbus, Brandenburg University of Technology Cottbus and Department for Urban Planning and Spatial Design & enda Vietnam, 2011. Disponível em: <https://www-docs.tu-cottbus.de/.../How_to_respond_to_Climate_Change_...> Acesso em 19 de 2012.

SCHMALZ, J. A. AVADAN - Avaliação de Danos. Joinville, DCJ/PMJ. 2007, 5 f.

SCHUCH, F.S. Análise da rede fluvial em diferentes escalas utilizando a teoria fractal e produtos de sensoriamento remoto. Tese de Doutorado, Florianópolis, UFSC, 2011. 161p.

SILVA, E. LOCH, C. Cadastro técnico: concepção e apoio a análises espaciais. In: ERBA, D. A. Sistemas de información geográfica

aplicados a estudos urbanos: experiencias latinoamericanas. Cambridge, Lincoln Institute of Land Policy, 2006. p. 44-54.

SILVEIRA, W.N.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R.F.;
BRANDENBURG, B. História das inundações em Joinville, 1851 –
2008, Curitiba, Organic Trading, 2009. Disponível em:
<[www.labhidro.ufsc.br/.../Silveira_etal\(2009\)_ ...](http://www.labhidro.ufsc.br/.../Silveira_etal(2009)_...)> Acesso em 19 de
março de 2011

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI,
C.E.M. Hidrologia. Ciência e aplicação. Porto Alegre, UFRGS/ABR, H,
2004. 940p. pp. 335-372.

SUGUIO, K. Geologia do quaternário e mudanças ambientais, passado
+ presente = futuro ? São Paulo, Paulo's Comunicação e artes gráficas,
1999. 366p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. Evolução da
planície costeira do Rio Doce (ES) durante o Quaternário – influência
das variações do nível do mar. Simpósio do Quaternário no Brasil/
CTCQ, 1982. Anais. v. 4, pp. 93-117

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M. Les variations relatives du
niveau moyen de la mer au Quaternaire récent dans la région de
Cananéia-Iguape. São Paulo, IG-USP, v.7, p. 113-129, 1976.

TAUBENBÖCK, H.; WURM, M.; NETZBAND, M.; ZWENZNER, H.;
ROTH, A.; RAHMAN, A.; DECH, S. Flood risks in urbanized areas,
Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 11, p. 431–444, 2011.

TREIN, L.E. Patrimônio biológico. KNIE, J.L.W. (ed) Atlas ambiental
da região de Joinville, complexo hídrico da Baía da Babitonga,
Florianópolis, FATMA/GTZ, pp. 27-31, 2002.

TROCADO, P. Manual ArcGIS 9, Formação em Sistemas de
Informação Geográfica. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2007.
Disponível em : <<http://www.scribd.com/doc/530063/manual-arcgis>>
Acesso em 19 de março de 2012.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia. Porto Alegre, UFRGS, 2004. 943p.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Limnologia. São Paulo, Oficina de textos, 2008. 632p.

UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Hyogo framework for action 2005-2015, Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. Geneva, UNISDR. 2007. Disponível em : <www.unisdr.org/eng/hfa/docs/HFA-brochure-English.pdf> Acesso em 19 de março de 2012.

VELLOZO, T.G.; ALVES, A.R. Características gerais do fenômeno da maré no Brasil. In : Anais Hidrográficos. Niterói, Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, Tomo LXI. 2006,

VENEZIA. Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree. Previsione dell'acqua alta a Venezia. La marea di Venezia. 2012. Disponível em : <<http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1748>> Acesso em 19 de março de 2012.

WMO. World Meteorological Organization UNEP. United Nations Environment Programme. IPCC. Report. International Panel for Climatic Change, 2007. Disponível em : <www.ipcc.ch> Acesso em 19 de março de 2012.

WOLANSKI, E. Estuarine ecohydrology. Amsterdam, Elsevier, 2007. 155p.

WOLF, J. Coupled wave and surge modelling and implications for coastal flooding. Adv. Geosci., v. 17, p. 19-22, 2008.

XAVIER, B. ; AGUIAR, C.E. Qual é o comprimento da costa do Brasil ? Disponível em : <omnis.if.ufrj.br/~carlos/inic/bernardo/fractal.pdf> Acesso em 19 de março de 2012.

8. ANEXO

